

Modelación del arroz en Latinoamérica

Estado del arte y base de datos para parametrización



Autores:

María Camila Rebolledo-Cid
Julián Ramírez-Villegas
Eduardo Graterol-Matute
Camila Andrea Hernández-Varela
Jeferson Rodríguez-Espinoza
Eliel Enrique Petro-Páez
Sebastián Pinzón
Alexandre Bryan Heinemann
Joysee Mariela Rodríguez-Baide
Maurits van den Berg

Series de Estudios Temáticos EUROCLIMA
Acción de Modelación Biofísica de Cultivos

2018



This publication is a Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service. It aims to provide evidence-based scientific support to the European policymaking process. The scientific output expressed does not imply a policy position of the European Commission nor of CIAT. The geographic borders presented in one or more of the figures, are purely a graphical representation and are only intended to be indicative. The boundaries do not necessarily reflect the official position of the European Commission nor that of CIAT. Neither the European Commission, nor CIAT nor any person acting on behalf of the Commission or CIAT is responsible for the use that might be made of this publication.

Contact information

Name: Maurits van den Berg

Email: maurits.vandenberg @ ec.europa.eu

JRC Science Hub

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC110177

EUR 29026 ES

PDF	ISBN 978-92-79-77337-2	ISSN 1831-9424	doi:10.2760/18081
Print	ISBN 978-92-79-77336-5	ISSN 1018-5593	doi:10.2760/221399

Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018

© European Union, 2018

Reuse is authorised provided the source is acknowledged. The reuse policy of European Commission documents is regulated by Decision 2011/833/EU (OJ L 330, 14.12.2011, p. 39).

For any use or reproduction of photos or other material that is not under the EU copyright, permission must be sought directly from the copyright holders.

How to cite this report: Rebolledo MC, Ramírez-Villegas J, Graterol E, Hernández-Varela CA, Rodríguez-Espinoza J, Petro- Páez EE, Pinzón S, Heinemann AB, Rodríguez-Baide JM, van den Berg M, *Modelación del arroz en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización*, EUR 29026 ES, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-77337-2, doi:10.2760/18081, JRC110177.

All images © European Union 2018, except 3 pictures in front page, property of Neil Palmer/CIAT, the CIAT logo on the front page, which is the property of CIAT, and except for the logos on page ii, which are the property of the external parties as listed.

Modelación del arroz en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización

María Camila Rebolledo-Cid^{1,2}

Julián Ramírez-Villegas^{1,3}

Eduardo Graterol-Matute⁴

Camila Andrea Hernández-Varela¹

Jeferson Rodríguez-Espinoza¹

Eliel Enrique Petro-Páez¹

Sebastián Pinzón¹

Alexandre Bryan Heinemann⁵

Joysee Mariela. Rodríguez-Baide⁶

Maurits van den Berg⁶

- 1) Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
- 2) Centre de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)
- 3) CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)
- 4) Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR)
- 5) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)
- 6) Comisión Europea, Centro Común de Investigación (JRC)

Instituciones colaboradoras



Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária



PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN DE CGIAR EN
**Cambio Climático,
Agricultura y
Seguridad Alimentaria**



**Programa de Investigación en Cambio
Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria
(CCAFS) del Grupo Consultivo sobre
Investigación Agrícola Internacional- CGIAR**

Contenido

Prefacio	iv
Agradecimientos	v
Resumen ejecutivo	vi
Executive summary	viii
1. Introducción	1
2. Métodos de levantamiento de la información	4
3. Estado del arte de la modelación del cultivo de arroz en LAC	5
4. Cobertura geográfica de los estudios de cultivo de arroz	12
5. Sistemas de producción de arroz en Latinoamérica y el Caribe	16
6. Análisis de caso de los estudios de modelación y agronómicos	20
7. Índices agro-fisiológicos de ensayos experimentales en campo	30
8. Información agro-fisiológica en otros países de LAC	43
9. Conclusiones generales	45
10. Uso y acceso de la información	47
11. Referencias bibliográficas	48
12. Descarga de programas (Otros links de potencial interés)	55
Lista de figuras	56
Lista de tablas	57
Listado de Anexos	58
Anexo 1 . Métodos de siembra en las estaciones experimentales de países miembros de FLAR	59
Anexo 2. Información de contacto, para acceso a la información disponible en países miembros de FLAR	60
Anexo 3. Información de contacto, para artículos de modelación citados en este informe	61
Anexos digitales	62

Prefacio

EUROCLIMA es un programa de cooperación regional entre la Unión Europea y América Latina enfocado en el cambio climático y financiado por el Directorado General para la Cooperación Internacional y el Desarrollo (DG DEVCO G/2) de la Comisión Europea (www.euroclima.org). Su objetivo es facilitar la integración de las estrategias de mitigación y adaptación ante el cambio climático en las políticas y planes de desarrollo en América Latina.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) (www.ciat.cgiar.org)—un Centro de Investigación de CGIAR (www.cgiar.org)— desarrolla tecnologías, métodos innovadores y nuevos conocimientos que contribuyen a que los agricultores, en especial los de escasos recursos, logren una agricultura eco-eficiente —es decir, competitiva y rentable, así como sostenible y resiliente. Con su sede principal cerca de Cali, Colombia, el CIAT realiza investigación orientada al desarrollo en las regiones tropicales de América Latina, África y Asia.

Este informe se llevó a cabo dentro del marco de la segunda fase de EUROCLIMA, dentro del componente tres: Agricultura Sostenible, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático; y forma parte de las actividades de desarrollo, investigación, creación de capacidad y aplicación de modelación biofísica, coordinadas por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea.

Este informe responde a una de las necesidades identificadas durante los talleres e interacciones con científicos latinoamericanos en cuanto a la falta de información y datos específicos disponibles para calibración de modelos, de los cultivos principales para la región, como es el caso del arroz. El objetivo principal de este trabajo fue: producir una base de datos con información específica para el contexto de Latinoamérica y el Caribe (LAC), que permita la calibración y parametrización regional de modelos de cultivo de arroz. Este informe es parte de una serie de documentos similares, publicados desde 2016, sobre: papa, maíz, trigo, frijol, soja, caña de azúcar y café.

Agradecimientos

Se agradece a todos los profesionales quienes contribuyeron con sus datos para este estudio y a las instituciones que impulsaron los trabajos de investigación.

Los datos de cultivo en Colombia, son el resultado de un proyecto financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia (2012–2014), la Federación Nacional de Arroceros de Colombia (Fedearroz), Colciencias (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Los datos de cultivo de arroz en Brasil son resultados de experimentos llevados a cabo por el programa de Frijol y Arroz de Embrapa (*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*), bajo la coordinación del Dr. Alexandre B. Heinemann, y la financiación de CNPq.

Resumen ejecutivo

El arroz en Latinoamérica y el Caribe (LAC) es un cultivo de gran importancia social y económica. El consumo de arroz en LAC ha aumentado significativamente durante los últimos años, registrando un promedio actual de 30 kg persona⁻¹ año⁻¹. La particularidad del arroz producido en LAC está en una alta calidad de grano y una producción que se realiza en su mayoría bajo sistemas mecanizados con siembra directa. En LAC, el arroz es producido bajo riego y secano dentro de diferentes eco-regiones (templado, tropical húmedo, tropical seco).

La seguridad alimentaria y el cambio climático constituyen un reto para la producción de arroz en LAC, elevando la necesidad de aumentar, pero a su vez estabilizar los rendimientos y la calidad del grano. La modelación de cultivos permite evaluar potenciales estrategias de adaptación. Estas herramientas permiten conocer, de forma anticipada, el comportamiento de las variedades de arroz bajo diferentes ambientes (combinaciones de suelo, clima, manejo y sus interacciones). Esto permite proyectar no solo los cambios en rendimiento y manejo del cultivo, pero también entender los procesos eco-fisiológicos que causan dichos cambios.

El objetivo del presente trabajo es recopilar información relevante sobre el cultivo de arroz en LAC, para su uso para calibración y/o validación de los modelos de simulación de crecimiento de cultivos. La información recabada incluye (1) generalidades sobre estudios de modelación existentes en LAC; (2) datos de crecimiento y desarrollo de variedades en ensayos experimentales; y (3) datos generales (a nivel nacional) de manejo del cultivo en LAC.

A través de una revisión de literatura se encontraron estudios de modelación publicados para cuatro países de Latinoamérica: Brasil, Venezuela, Chile y Cuba. Se colectaron y organizaron datos de un total de 65 ensayos eco-fisiológicos para calibración y evaluación de modelos mecanísticos para dos países: Brasil y Colombia. Estas bases de datos incluyen información básica de clima y suelos, así como de crecimiento y desarrollo del cultivo para 2 variedades en Colombia; y para 3 variedades en Brasil. Adicionalmente, de acuerdo a información disponible a través del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) se determinó que existe información en otros países de la región. Esta información fue identificada como parte de este trabajo, y podría en el futuro formar parte de una segunda base de datos, que

complemente la presentada en este informe. Toda esta información, así como los datos de manejo a nivel nacional recolectados a través de FLAR, constituyen un importante primer paso para estudiar los impactos del cambio climático en el cultivo de arroz en LAC.

Palabras clave: *Oryza sativa*, arroz, Latinoamérica, modelos de simulación, cambio climático, base de datos, calibración, evaluación.

Executive summary

In Latin America and the Caribbean (LAC), rice is a crop of great social and economic importance. The consumption of rice in LAC has increased significantly during recent years, currently reaching an average of 30 kg person⁻¹ year⁻¹. Rice in LAC is recognized for its high grain quality and the wide use of mechanized direct seeding systems. In LAC farming systems, rice is produced under rainfed and lowland conditions across different zones (temperate, humid tropical, and dry tropical).

Food security and climate change are both challenging rice production in LAC, increasing the need for high and stable grain yields and quality. Potential strategies for crop adaptation can be assessed using crop models. These tools bring information on the performance of different varieties in different environments (soil, climate, management interactions), as well as an understanding of the eco-physiological processes behind such performance.

The objective of this work was to gather relevant information for rice in LAC that could be used to calibrate and/or validate crop growth models. The information collected includes (1) general information on existing modeling studies in LAC; (2) data for growth and development of plants from field experiments; and (3) general data on crop management (at national level).

This study reviewed the peer-reviewed publications reporting the use of modelling on rice for LAC. Reports for four countries were found: Brazil, Venezuela, Chile and Cuba. Data of 65 eco-physiological field trials were collected and organized for two countries: Brazil and Colombia. The databases include basic information on climate and soil, as well as growth and development related variables for two varieties in Colombia and for three varieties in Brazil. With the Latin American Fund for Irrigated Rice (FLAR) (hosting rice farmers associations from LAC), we were able to identify sites where additional information for crop modelling is available. In the future, this information could be part of a second database, as an addition to the data presented in this report. All these data, in addition to the national-level management information gathered through FLAR, constitute a key first step for the study of climate change impacts on rice cultivation in LAC.

Key words: *Oryza sativa*, rice, Latin America, simulation models, climate change, database, calibration, evaluation.

1. Introducción

El arroz, es el segundo cereal más cultivado a nivel mundial después del trigo y constituye la base alimenticia de más de 3.5 billones de personas (Ricepedia, 2016). El consumo de arroz per cápita promedio mundial para el periodo 2015/2016 fue de 54.1 kg persona⁻¹ año⁻¹ (FAO, 2016). Junto con el trigo y maíz, el arroz es el cultivo que ha tenido las mayores ganancias relativas y absolutas, en relación al consumo per cápita nacional mundial durante los últimos 50 años (Khoury *et al.*, 2014). Según los reportes estadísticos de la FAO, en el año 2013, el consumo per cápita de los países de Centroamérica alcanzó un promedio total de 10.2 kg persona⁻¹ año⁻¹, para los países de la zona Caribe el consumo fue de 49.7 kg persona⁻¹ año⁻¹, y para Sur América el promedio total fue de 28.7 kg persona⁻¹ año⁻¹ (FAO, 2017). Así, para el año 2013, en LAC se calcula que el promedio de consumo per cápita de arroz fue de 29.6 kg persona⁻¹ año⁻¹.

El arroz suple el 20 % de las calorías diarias a nivel mundial y el 11.5 % de calorías diarias en LAC (GRiSP, 2013). Sin embargo, en países como Ecuador, Guyana, Haití, Panamá y Perú el aporte a la dieta diaria es de un 20% (GRiSP, 2013). También es una fuente importante de calorías, vitaminas y aminoácidos como el ácido glutámico y aspártico (FAO, 2004), convirtiendo la calidad nutricional del grano de arroz en un atributo suplementario por conservar y mejorar.

El arroz es un cereal perteneciente al género *Oryza* y a la familia *Poaceae*, como cultivo se desarrolla alrededor del mundo tanto en las zonas templadas como en los trópicos (Luh, 1991; Tivy, 2014) Dentro de la clasificación taxonómica se han identificado alrededor de 25 especies pertenecientes al género *Oryza*, de las cuales dos son cultivadas: *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima* (Kumagai, *et al* 2010; Singh & Khush, 2000). La especie *Oryza sativa* es la de mayor distribución a nivel mundial, evolucionó en diferentes zonas formando tres subespecies que se conocen como: Indica, distribuida en trópicos y subtrópicos; Japónica, cultivada en las zonas templadas; y Javánica o Japónica tropical, ubicada principalmente en las regiones de Indonesia (Oka, 1988; Sharma, 2010). Las especies Indica y Japónica son las que cubren la mayor parte de las necesidades de consumo a nivel mundial. La especie Indica se caracteriza por tener un alto número de tallos, granos largos a medianos y un contenido de amilosa moderado. Es la preferida por los consumidores de América y Europa, y representa el 85% del mercado mundial. La especie Japónica se

caracteriza por tener un bajo número de tallos, panículas largas y un porte alto. El arroz de esta sub-especie es el arroz tipo pegajoso y preferido en su mayoría por los consumidores asiáticos (Degiovanni B., *et al*, 2010; Smith & Dilday, 2003).

El arroz se cultiva en 113 países (Degiovanni B. *et al.*, 2010). En 2014, se registró una área sembrada de 162.7 millones de hectáreas, lo que produjo un total de 741.4 millones de toneladas, con un rendimiento promedio de 4.55 ton ha⁻¹ (FAO, 2017). Asia representa el 90% del mercado mundial, siendo China continental, India, Indonesia, Bangladesh y Vietnam, los 5 principales países productores (FAO, 2017). La producción para LAC (23 países productores) en el año 2014 según lo reportado por la FAO (2017) fue de 25.2 millones de toneladas (3.39% del total mundial), siendo Brasil el primer productor con un total de 12.17 MT en un área de 2.3 millones de hectáreas, seguido de Perú (2.89 MT) y Argentina (1.58 MT), registrando rendimientos entre 5.2 a 7.6 ton ha⁻¹.

El cambio climático afecta la producción de arroz alrededor del mundo. El último reporte del IPCC demostró que, en ausencia de adaptación, la productividad del arroz podría disminuir a una tasa de 1 – 5 % por cada grado de calentamiento regional (Challinor *et al.*, 2014; Porter *et al.*, 2014). Adicionalmente, las altas temperaturas pueden causar pérdidas de rendimiento debido a la excedencia de umbrales críticos de temperatura durante épocas críticas de crecimiento sobretodo después de la floración (Li *et al.*, 2015; Peng *et al.*, 2004).

Los modelos de simulación de cultivos y el análisis del sistema suelo-planta-atmósfera son herramientas importantes para la investigación agrícola moderna (Murthy, 2004). Un modelo de cultivo representa de manera sencilla y sintética los procesos fisiológicos y ecológicos del crecimiento y desarrollo de las plantas utilizando ecuaciones matemáticas (Gálvez, *et al*, 2010). Una vez realizada la calibración y validación del modelo, este puede ser utilizado para ayudar a interpretar y analizar el comportamiento del cultivo en distintos escenarios de clima, manejo o diferentes tipos de suelo. Puede también ser utilizado para el mejoramiento varietal, con el fin de entender el comportamiento fisiológico en años con bajos rendimientos, la sensibilidad a factores meteorológicos, edáficos, hidrológicos (Murthy, 2004), y la sensibilidad a ciertos caracteres fenotípicos. Uno de los objetivos del uso de la modelación de cultivos, es conocer los efectos del cambio climático sobre la

producción local y regional (Challinor *et al.*, 2014; Zhao *et al.*, 2016). De acuerdo con la cantidad de datos disponibles y el objetivo del uso de la modelación, se han desarrollado modelos con diferentes niveles de complejidad. Los modelos de simulación se clasifican en dos grandes grupos: empíricos y mecanísticos. Los primeros no consideran los procesos fisiológicos explícitamente, sino que buscan encontrar relaciones entre una variable de salida (el rendimiento) y una serie de variables explicativas (e.g. precipitación, temperatura, radiación). Por el contrario, los modelos mecanicistas, más complejos, tienen en cuenta más aspectos del desarrollo y crecimiento del cultivo y sus interacciones con el ambiente, por lo tanto, se considera que poseen mayor capacidad explicativa de la fisiología del cultivo (Hernández *et al.*, 2009). En este reporte nos enfocaremos en la búsqueda de información para su utilización en modelos mecanísticos.

Los modelos al ser calibrados y validados, permiten conocer de forma anticipada la respuesta del cultivo ante cambios de variables meteorológicas, suelo y manejo del cultivo (Angulo *et al.*, 2013; Boote *et al.*, 1996; Meinke *et al.*, 1997). En LAC, el uso de los modelos de simulación permitiría explorar alternativas para adaptar la producción de arroz a diferentes escenarios climáticos (Fernandes *et al.*, 2012). Además, los modelos de simulación también permitirían orientar a los programas de mejoramiento genético en el desarrollo varietal, estudios fisiológicos y agronómicos dirigidos a la adaptación de los sistemas productivos al cambio climático (Petri *et al.*, 2015; White *et al.*, 2011)

El presente trabajo recopila información sobre el uso de la modelación de cultivos para el cultivo de arroz en LAC y presenta una base de datos de ensayos de seguimiento de crecimiento y desarrollo del cultivo de arroz, que pueden utilizarse para la calibración y/o validación de modelos mecanísticos de arroz en LAC. Asimismo, este reporte contiene información básica del cultivo de arroz en LAC, que puede ser utilizada en el futuro, a través de la plataforma BIOMA de EUROCLIMA, o por cualquier otro organismo que requiera acceder a la misma.

2. Métodos de levantamiento de la información

Para conocer la información disponible sobre modelación de cultivos en LAC se realizó una revisión bibliográfica en ocho bases de datos, estas fueron SCOPUS, JStor, EBSCO Discovery Service, Springer, Science Direct, AGRIS-CARIS, Google Scholar y SCielo, siendo esta última una base de datos que solo tiene publicaciones para Latinoamérica.

En cada base de datos se hizo una búsqueda de las palabras clave modelo/modelación, arroz, rendimiento y el país productor de arroz en Latinoamérica según el Programa Global de Investigación en Arroz (*GRiSP*, por su sigla en inglés) (*GRiSP* (Global Rice Science Partnership), 2013): Brasil, Colombia, Chile, México, Ecuador, Perú, Paraguay, Venezuela, Panamá, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, Argentina, Bolivia y Uruguay; tanto en inglés, como en español y portugués.

Además de esto, teniendo en cuenta la colaboración del FLAR y su amplia experiencia en el cultivo, se obtuvieron datos generales a nivel nacional sobre el manejo del cultivo de arroz en LAC, junto con la información de contacto para cada país.

3. Estado del arte de la modelación del cultivo de arroz en LAC

Actualmente, existen por lo menos 13 modelos diferentes de simulación de arroz alrededor del mundo (Li *et al.*, 2015). Varios trabajos a nivel mundial reportan el uso de estos modelos individualmente o en combinación para estudiar la respuesta del arroz a diferentes combinaciones de clima, suelo y manejo (Aggarwal *et al.*, 1997; Challinor *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2016).

Una de las limitaciones para el uso de los modelos de simulación de tipo mecanístico está en la disponibilidad de datos para la calibración de las variedades y/o la validación de las simulaciones resultado de la calibración. Para esto, es necesario contar con datos del cultivo (detallando el desarrollo y crecimiento según el modelo utilizado), con datos climáticos, edáficos y de manejo agronómico para los sitios donde se desea hacer simulaciones y para cada variedad de interés. Dentro de lo reportado en publicaciones indexadas para LAC se observa que la modelación mecanística del cultivo de arroz se ha realizado solo en tres países: Brasil, Chile, y Cuba. Dentro de estos estudios, los principales objetivos de las simulaciones fueron:

- Identificar el comportamiento de una variedad frente a diferentes escenarios climáticos futuros (dos Santos *et al.*, 2010; Rosa *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2012; Walter *et al.*, 2014);
- Conocer la variación en el rendimiento frente a diferentes manejos agronómicos (Artacho *et al.*, 2011; Lorençoni *et al.*, 2010);
- Definir ambientes específicos para el mejoramiento de cultivos (Heinemann *et al.*, 2015); y
- Simular el comportamiento de los cultivos frente a diferentes patrones de un estrés abiótico (Heinemann *et al.*, 2008; Heinemann *et al.*, 2015).

Dentro de la bibliografía consultada para LAC, encontramos que Brasil es el país con un mayor número de reportes que utilizan modelos mecanísticos como: ORYZA2000 (Heinemann *et al.*, 2015; Lorençoni *et al.*, 2010; Ramirez-Villegas *et al.*, 2018), Simul-Arroz (Rosa *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2014), InfoCrop (Walter *et al.*, 2012), SEBAL (dos Santos *et al.*, 2010) y RICE06 (Heinemann *et al.*, 2008). En Chile, Artacho *et al.* (2011) utilizaron ORYZA2000, mientras que en Cuba Hernández Córdova *et al.* (2016) utilizaron el modelo DSSAT. También se encontraron publicaciones que utilizan modelos empíricos con el fin de entender la interacción genotipo por ambiente, estos se reportan para: Brasil (Bueno *et al.*, 2012; Colombari Filho *et al.*, 2013; De Almeida Monteiro *et al.*, 2013; DoVale *et al.*, 2012; Regitano *et al.*, 2013; Stone *et al.*, 1999), Venezuela (Acevedo *et al.*, 2010), Panamá (Camargo-Buitargo *et al.*, 2014; Camargo

et al., 2011), Argentina (Asenjo *et al.*, 2003) y Colombia (Ramos Molina *et al.*, 2009).

Las variedades y/o genotipos utilizados en estos estudios y por lo tanto de las cuales existirían datos para la modelación mecanística en LAC son: BRS Primavera (Heinemann *et al.*, 2015; Lorençoni *et al.*, 2010; Ramirez-Villegas *et al.*, 2018), IRGA 421 (Rosa *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2012); IRGA 417, EPAGRI 109 (Walter *et al.*, 2012); LP-5 (Hernández Córdova *et al.*, 2016); Diamante INIA (Artacho *et al.*, 2011); BRS Querência, IRGA 424 y SCSBRS Tio Taka (Rosa *et al.*, 2015); Guarani y Caiapo (Heinemann *et al.*, 2008). En los trabajos de modelación empírica se reportan variedades como: IAC-242, IAC-100, IAC-101, IAC-102 (Pedro Júnior *et al.*, 1995); SCS 116 Satoru (Bordin *et al.*, 2016) , IAC 103 (García *et al.*, 2003); IDIAP FL 137-11, IDIAP FL 106-11, IDIAP FL 156, IDIAP FL 155 (Camargo-Buitargo *et al.*, 2014); IDIAP 145-05, IDIAP 54-05, Fedearroz 473 Colombia XXI (FEDEARROZ), Oryzica 1 (ICA-CIAT), RHP-6-06 (IDIAP-FLAR), RHP-7-06 (IDIAP-FLAR), FLAR 179-00 (IDIAP-FLAR), FLAR 195-00 (IDIAP-FLAR) y FLAR 198-00 (IDIAP-FLAR) (Camargo *et al.*, 2011); Maravilha, CNA7127, CNA7730 y CT7/15BRS (Stone *et al.*, 1999); Atalanta, BRS-6 Chui, BRS Querência, BRS Firmeza, BR-IRGA 410, BRS Pelota, BRS 7 Taim y BRS Fronteira (Steinmetz *et al.*, 2013).

Teniendo en cuenta todos los estudios mecanísticos, los datos del cultivo utilizados para la calibración de modelos van desde 1996 a 2013, mientras que las simulaciones presentadas en estos estudios van desde 1960 hasta el año 2099. Los sistemas de siembra estudiados incluyen sistemas de riego (Acevedo *et al.*, 2010; Artacho *et al.*, 2011; dos Santos *et al.*, 2010; García *et al.*, 2003; Klering *et al.*, 2016; Pedro Júnior *et al.*, 1995; Rosa *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2012; Walter *et al.*, 2014), y de secano (Heinemann *et al.*, 2015; Lorençoni *et al.*, 2010).

En general, las variables de clima utilizadas en los estudios de modelación mecanística incluyen principalmente: temperatura máxima, mínima y radiación solar. Algunos artículos incluyen otras variables como precipitación (Heinemann *et al.*, 2015; Walter *et al.*, 2014), velocidad del viento y presión de vapor (Artacho *et al.*, 2011), obtenidas de las estaciones meteorológicas cercanas a los sitios de estudio y/o usualmente provenientes de los Institutos Meteorológicos Nacionales. Los estudios de Artacho *et al.* (2011), Heinemann *et al.* (2015), y Lorençoni *et al.* (2010) detallan datos de suelo y de fertilización.

Los estudios de modelación empírica, tuvieron como fin observar el rendimiento en función de: (i) la severidad e intensidad de un sistema patológico (Bordin *et al.*, 2016); (ii) las variables climáticas (Klering *et al.*, 2008; Monteiro *et al.*, 2013) (iii) la absorción y uso de nutrientes por diferentes variedades (García *et al.*, 2003; Klering *et al.*, 2016; Stone *et al.*, 1999); (iv) la interacción genotipo por ambiente (Acevedo *et al.*, 2010; Asenjo *et al.*, 2003; Camargo-Buitargo *et al.*, 2014; Camargo *et al.*, 2011; Colombari Filho *et al.*, 2013; DoVale *et al.*, 2012; Ramos Molina *et al.*, 2009; Regitano Neto *et al.*, 2013) y (v) el proceso de producción (Mejías & Ramírez, 2015). Se consideró que los datos contenidos en estos estudios pueden servir en un futuro como fuente para la modelación mecanística en el proceso de validación de los modelos.

Actualmente, instituciones como el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Fondo Latinoamericano de Arroz de riego (FLAR) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) han venido desarrollando ensayos de evaluación del desarrollo y crecimiento de las variedades de arroz, para producir datos que permitan la modelación mecanística de cultivos de arroz. Estas actividades se han realizado con el fin de crear herramientas para (i) guiar las estrategias de mejoramiento genético bajo escenarios de cambio climático; (ii) mejorar el manejo del cultivo bajo diferentes ambientes y/o manejos; (iii) ayudar a la toma de decisiones en campo, por ejemplo, mediante el uso de pronósticos agro-climáticos; y (iv) desarrollar estrategias de adaptación.

En la sección número 6 se presentan los principales objetivos, metodología y resultados de algunos de los estudios sobre modelación realizados en LAC. Los títulos, año, autor principal y modelos utilizados se pueden observar en la Tabla 1 y la información de contacto de los autores en el Anexo 3

Sin embargo, los trabajos son pocos y en algunos casos los autores reportan la necesidad de incrementar el número de experimentos y/o de datos con el fin de corregir la sobreestimación de los rendimientos en los resultados simulados (Artacho *et al.*, 2011; Walter *et al.*, 2012). Adicionalmente, solo uno de los estudios Latinoamericanos de modelación mecanístico consultados (Fernandes *et al.*, 2012) consideró factores bióticos explícitamente, aún de manera muy exploratoria; ninguno simula la respuesta en la calidad de grano. Ambos factores son de capital importancia para los productores de arroz en LAC.

Tabla 1. Estudios de modelación de arroz realizados en LAC

País	Título	Año	Autor principal	Tema central	Modelo
Brasil	Breeding implications of drought stress under future climate for upland rice in Brazil.	2018	Julian Ramirez-Villegas	Explorar las necesidades para cambiar la estrategia de mejoramiento de arroz en función de los cambios en la frecuencia e intensidad del estrés por sequía en la región de cultivo de arroz de secano brasileña.	ORYZA-2000
Brasil	Modelo agrometeorológico- espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz.	2016	Eliana Veleza Klering	Modelación para rendimiento en función de variables climáticas y procesos de evapotranspiración.	Empírico
Brasil	Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease.	2016	Luiz Carlos Bordin	Modelación para rendimiento en función de la severidad de un sistema fitopatológico.	Empírico
Brasil	Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz.	2015	Hamilton T. Rosa	Modelación para la evaluación del programa SEBAL simulando el rendimiento del cultivo en diferentes regiones.	SimulArroz
Brasil	Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil.	2015	Alexandre Bryan Heinemann	Modelación del rendimiento frente a diferentes ambientes específicos.	ORYZA-2000
Brasil	Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.	2014	Lidiane Cristine Walter	Modelación para rendimiento en función de variables climáticas.	SimulArroz
Brasil	Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar.	2013	Silvio Steinmetz	Modelación para rendimiento en función de variables climáticas.	Empírico
Brasil	Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado.	2012	Lidiane Cristine Walter	Modelación para calibrar y validar el modelo InfoCrop en el rendimiento del grano de arroz.	InfoCrop

País	Título	Año	Autor principal	Tema central	Modelo
Brasil	Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil.	2010	Rogério Lorençoni	Modelación para calibrar y validar el modelo ORYZA-2000.	ORYZA-2000
Brasil	Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER.	2010	Thiago Veloso dos Santos	Modelación del impacto ambiental en función de procesos de evapotranspiración.	SEBAL (Empírico)
Brasil	Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul.	2008	Eliana Veleza Klering	Modelación del rendimiento con la utilización de funciones matemáticas.	Empírico
Brasil	Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil.	2008	Alexandre Heinemann	Modelación para caracterizar patrones de estrés por sequía.	RICE 06
Brasil	Logistic rice model for dry matter and nutrient uptake.	2003	Axel García y García	Modelación para determinar tasas de absorción de nutrientes y acumulación de materia seca.	Empírico
Brasil	Lowland rice yield estimates based on air temperature and solar radiation.	1995	M.J. Pedro-Junior	Modelación para rendimiento en función de variables climáticas.	Empírico
Brasil	Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo.	2013	Regitano Neto	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Brasil	Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield.	2013	Colombari Filho	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico

País	Título	Año	Autor principal	Tema central	Modelo
Brasil	Rice yield estimation based on weather conditions and on technological level of production systems in Brazil.	2013	Monteiro, J.	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Brasil	Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010.	2012	DoVale, J	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Brasil	Adaptabilidade e estabilidade de acessos de uma coleção nuclear de arroz.	2012	Bueno, L.G	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Brasil	Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão.	1999	Stone	Modelación para determinar el rendimiento y sus componentes en función de diferentes tasas de nitrógeno.	Empírico
Colombia	Testes multiambientais na seleção de genótipos de arroz utilizando o modelo de regressão nos sítios ou locais.	2009	Ramos. L	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Argentina	Genotype-environment interactions in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) in temperate region using the Joint Regression Analysis and AMMI methods.	2003	Asenjo, C.A	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Panamá	Identifying mega-environments to enhance the use of superior rice genotypes in Panama.	2011	Inés Camargo Buitrago	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico

País	Título	Año	Autor principal	Tema central	Modelo
Panamá	Selección de nuevos genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo.	2014	Inés Camargo Buitrago	Modelación para la evaluación de la interacción genotipo por ambiente.	Empírico
Chile	Evaluation of the ORYZA-2000 Rice growth model under nitrogen-limited conditions in an irrigated mediterranean environment.	2011	Pamela Artacho	Modelación para calibrar y validar el uso del modelo ORYZA-2000 como herramienta para determinar el rendimiento de granos de arroz.	ORYZA-2000
Venezuela	Un modelo de simulación genérico de una productora de arroz.	2015	Mejías P., Ixhel	Modelo de producción de arroz desde siembra hasta molino.	Empírico
Venezuela	Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN- BINNS y AMMI.	2010	Marco Acevedo	Modelación para explicar el rendimiento como resultado de la relación genotipo por ambiente.	Empírico
Cuba	Utilización de un modelo de simulación para la predicción del comportamiento de algunos cereales en las condiciones de Cuba.	2016	Navy Hernández	Modelación para calibrar y validar el uso del modelo DSSAT como herramienta para determinar el rendimiento de granos de arroz.	DSSAT
LAC	Climate change and agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected impacts and response to adaptation strategies.	2012	Erick Fernandes	Exploración de los impactos de cambio climático sobre los rendimientos de cultivos y del potencial de respuestas de adaptación.	WARM / BioMA

4. Cobertura geográfica de los estudios de cultivo de arroz

Hasta hoy, los países donde se reportan estudios publicados de modelación mecanística en arroz son Brasil, Chile y Cuba; sin embargo, el potencial de producción de arroz se encuentra en toda LAC.

El cultivo de arroz actualmente es desarrollado en 23 países de LAC. Para el año 2014, el total de producción fue de 25.2 millones de toneladas en un total de 4.8 millones ha (FAO, 2017). El país con mayor producción, fue Brasil con más de 12 millones de toneladas. En el 2014, otros de los países con mayor producción en millones de toneladas, después de Brasil, fueron Perú (2.9 MT), Colombia (2.2 MT), Argentina (1.6 MT), Ecuador (1.4 MT) y Uruguay (1.3 MT) (FAO 2017; ver Tabla 2 y Figura 1). La Figura 2 muestra la distribución del cultivo en LAC.

Considerando el área sembrada, se observa que el rendimiento más alto alcanzado para el 2014, es el de Uruguay, con 8.1 ton ha⁻¹ en un área total cosechada de 167.400ha. Estos resultados se pueden explicar gracias al manejo del cultivo (labranza mínima y la rotación de cultivos con pasturas y leguminosas) y una buena oferta ambiental (IRRI, 2015).

Por lo tanto, aunque solo se hayan reportado estudios de modelación mecanística en 3 países, existe un gran potencial para el uso de los modelos en LAC, además de los análisis de datos experimentales realizados en los centros de investigación. Dentro de los 18 miembros del FLAR, en este reporte presentamos los estudios agronómicos realizados en 12 países (Ver Anexo 2 y 4). Cabe resaltar que hasta la fecha no se tiene conocimiento de estudios que reporten el uso de un modelo mecanístico de arroz para simular el rendimiento bajo sistemas de rotaciones en LAC, lo cual es importante considerar si se quiere evaluar el potencial de producción en LAC.

Tabla 2. Toneladas cosechadas, rendimiento, área cosechada, área total nacional ocupada en superficie terrestre, área total agrícola, e porcentaje de área cosechada por país en relación al área total agrícola en LAC, 2014. Fuente: FAOSTAT (FAO, 2017)

País	Toneladas cosechadas (ton)	Rendimiento (ton ha ⁻¹)	Área cosechada (ha)	Área total nacional ocupada en superficie terrestre (ha)	Área total agrícola (ha)	% de Área cosechado en relación al área total agrícola
Argentina	1 581 810	6.5	243 200	273 669 000	148 700 000	0.16
Belice	16 259	4.6	3 511	2 281 000	160 000	2.19
Bolivia	443 285	2.4	183 172	108 330 000	37 704 500	0.49
Brasil	12 175 602	5.2	2 340 878	835 814 000	282 589 000	0.83
Chile	134 884	6.0	22 398	74 353 200	15 761 200	0.14
Colombia	2 206 525	4.8	461 273	110 950 000	44 913 400	1.03
Costa Rica	223 564	3.9	56 646	5 106 000	1 811 100	3.13
Cuba	584 800	3.4	171 572	10 402 000	6 278 910	2.73
Ecuador	1 379 954	3.9	354 136	24 836 000	5 601 700	6.32
El Salvador	41 838	5.9	7 099	2 072 000	1 602 000	0.44
Guatemala	33 244	3.0	11 182	10 716 000	3 793 800	0.29
Guyana	97 728	5.3	185 389	19 685 000	1 680 000	11.04
Haití	143 650	2.5	56 631	2 756 000	1 840 000	3.08
Honduras	51 575	6.5	7 960	11 189 000	3 235 000	0.25
México	232 159	5.7	40 642	194 395 000	106 705 000	0.04
Nicaragua	385 000	4.3	88 712	12 034 000	5 065 000	1.75
Panamá	217 557	2.8	78 220	7 434 000	2 257 000	3.47
Paraguay	804 000	6.7	120 000	39 730 000	21 885 000	0.55
Perú	2 896 613	7.6	381 368	128 000 000	24 330 600	1.57
República Dominicana	718 237	4.4	163 157	4 831 000	2 352 000	6.94
Surinam	275 851	4.4	62 211	15 600 000	88 200	70.53
Uruguay	1 348 300	8.1	167 400	17 502 000	14 449 600	1.16
Venezuela	1 158 056	5.1	226 597	88 205 000	21 600 000	1.05

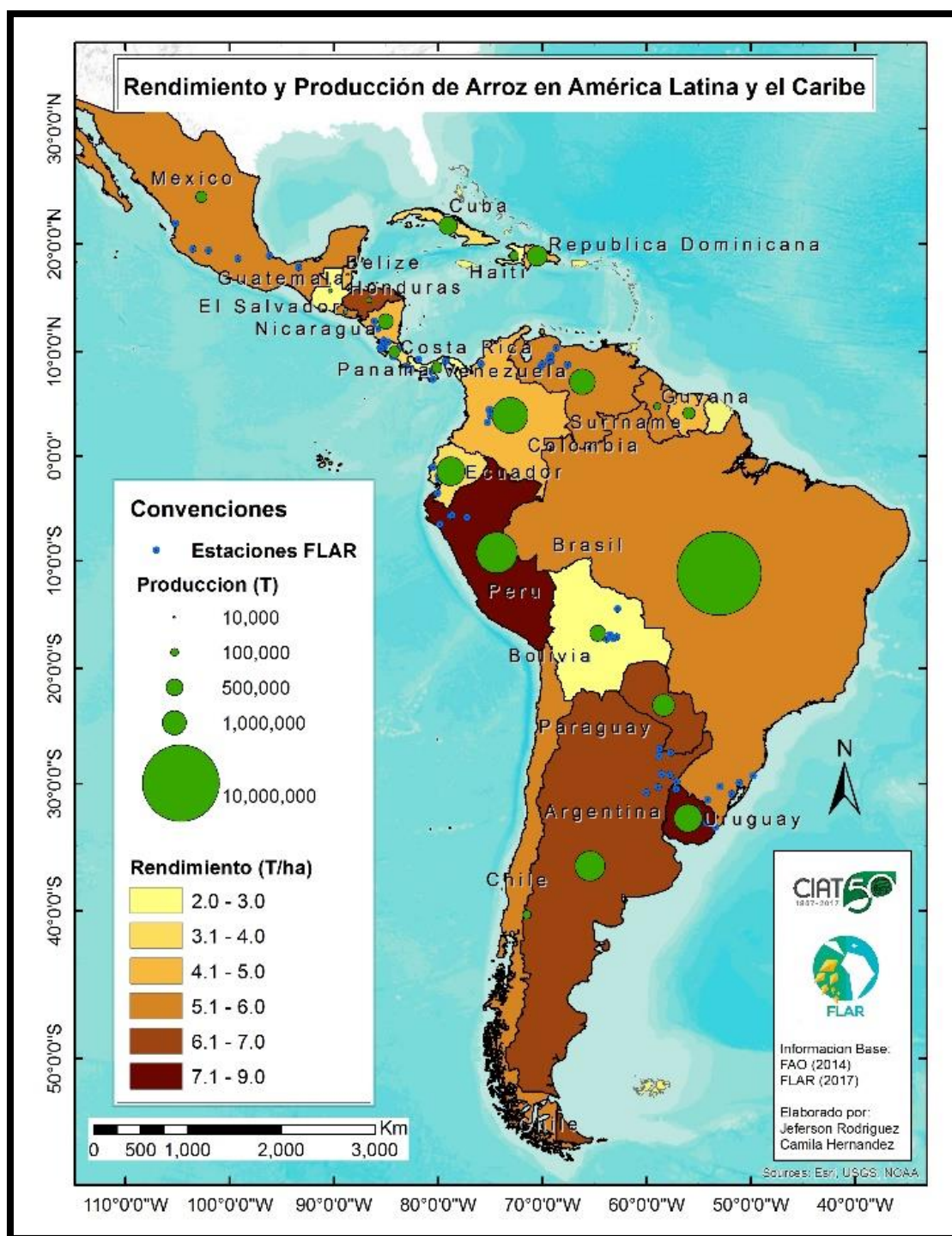


Figura 1. Producción y rendimiento de arroz en LAC 2014

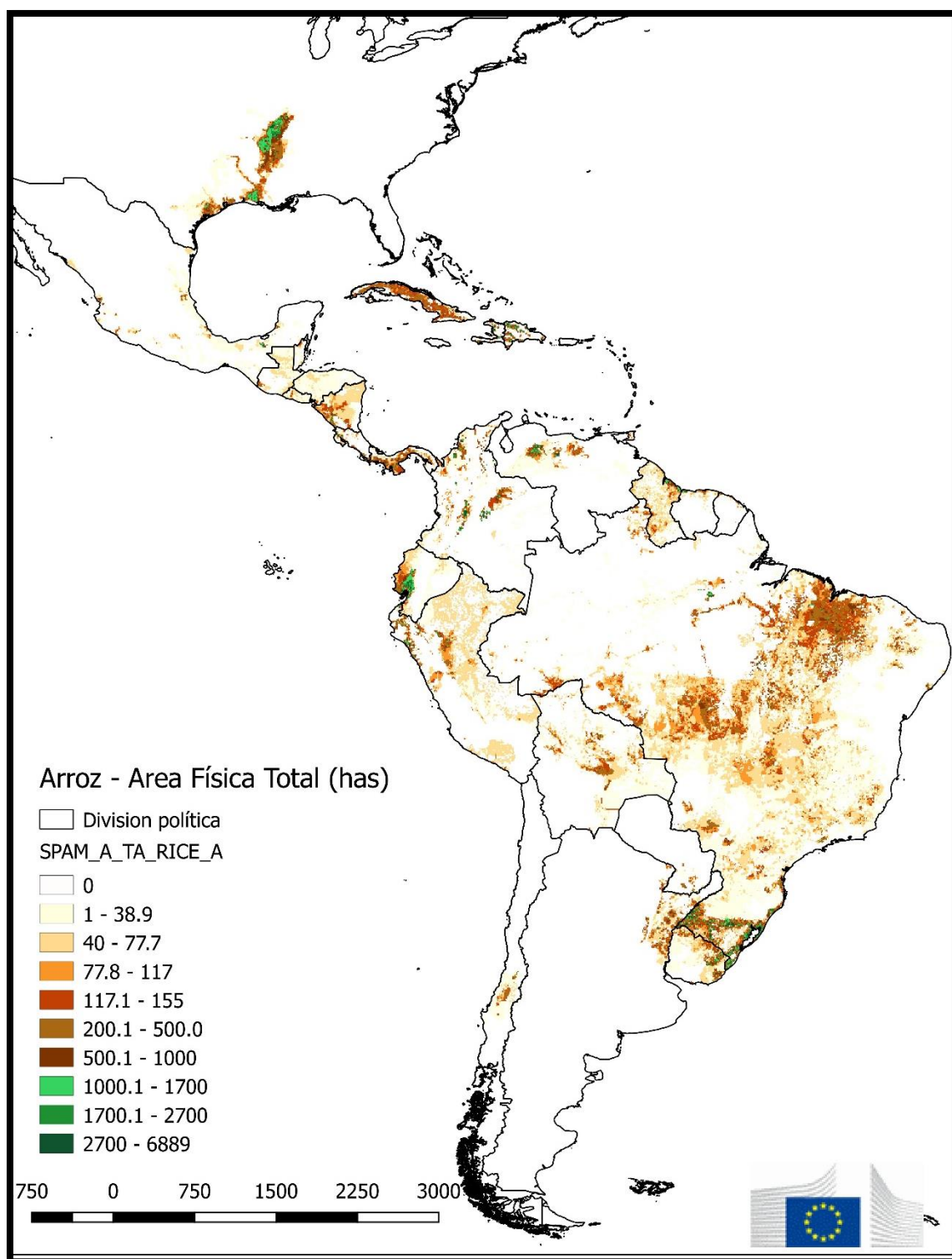


Figura 2. Distribución del cultivo de arroz según el área total por celda de cuadrícula de 10x10 km de resolución en la región LAC. Fuente: JRC con datos de MapSPAM (You et. al. (2016)).

5. Sistemas de producción de arroz en Latinoamérica y el Caribe

La producción de arroz en Latinoamérica es desarrollada por alrededor de un millón de agricultores, de este total 0.8 millones son pequeños productores con menos de 3 ha, contribuyendo al 6% de la producción mediante un sistema de siembra manual, mientras que el restante 94% de la producción está a cargo de 0.2 millones de agricultores que cuentan con superficies entre 15 y 50 ha en promedio, utilizando la siembra mecanizada (GRiSP, 2013).

El **arroz irrigado o por inundación**¹ ocupa el 37% de área sembrada en LAC, aportando el 59% de la producción total con rendimientos promedio de 5.0 ton ha⁻¹. El **arroz de secano de tierras bajas**¹ ocupa un 16% de área de siembra, con un aporte del 22% a la producción y con rendimientos de 3.9 ton ha⁻¹. Por último, el **arroz de secano de tierras altas**¹ ocupa un 19% de área y contribuye al 46% de la producción, con un rendimiento promedio de 1.3 ton ha⁻¹ (GRiSP, 2013). Dentro de estos tipos de manejo existen también diferentes métodos de siembra; por ejemplo: arroz por trasplante en suelo fangueado, siembra directa con semilla pregerminada, siembra en suelo inundado al voleo y siembra mecanizada sobre suelo seco (Pantoja *et al.*, 1997; Tinoco & Acuña, 2008). En el Anexo 1 se especifican los métodos de siembra que se manejan dentro de 12 países miembros de FLAR.

En el cono sur, Argentina, Brasil, Chile y Uruguay, se realiza un solo ciclo de siembra, mientras que en Bolivia, Costa Rica, Ecuador, Honduras, Nicaragua, México, Panamá, Perú, República Dominicana y Venezuela se realizan dos ciclos por año. Finalmente, en Belice, Colombia y Nicaragua se presentan hasta tres siembras por año (Anexo 1). La Tabla 3, indica que, para los años 2015 a 2016, la siembra bajo

¹ Arroz irrigado: agroecosistema en el cual la producción de arroz se realiza bajo un sistema de riego integrado. Los métodos de siembra para este sistema son cuatro, que incluyen arroz trasplantado en suelo fangueado o batido, siembra directa con semilla pregerminada, siembra en suelo inundado o siembra en suelo seco.

Arroz de secano: agroecosistema en el cual la producción de arroz depende de las precipitaciones del lugar para suplir las necesidades hídricas. Tiene dos métodos de siembra que corresponden a siembra en tierras bajas por siembra directa o al voleo, y la siembra en tierras altas, que se caracterizan por tener suelos con un buen drenaje, ácidos y de baja fertilidad. Dentro del sistema de arroz por secano, también existe el secano favorecido, en el cual además de las precipitaciones, las necesidades hídricas se suplen con riegos suplementarios.

inundación, fue realizada todo el año para los países de la **zona tropical**², y durante los meses de enero, septiembre, octubre y noviembre para los países de la **zona templada**². Para la zona tropical las siembras en sistema de secano, se reportaron un total de 8 meses que incluyen: Enero, abril, mayo, junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre.

La densidad de siembra recomendada es de 80 a 100 kg de semilla ha⁻¹, para obtener un total de 150 a 250 plantas m⁻² (Degiovanni B. *et al.*, 2010). Sin embargo, datos recolectados por CIAT/FLAR reportan densidades de siembra que varían desde 70 a 170 kg de semilla ha⁻¹ para los sistemas de riego, y entre 90 a 195 kg de semilla ha⁻¹ para los sistemas de arroz por secano. La fertilización recomendada para el arroz de riego en LAC debe ajustarse a las necesidades del cultivo, el nivel de fertilidad de los suelos y a la oferta ambiental. De manera general, para el nitrógeno se recomiendan entre 150 y 250 kg N ha⁻¹, fósforo de 40 a 70 kg ha⁻¹ y potasio de 90-120 Kg ha⁻¹. La fertilización del cultivo del arroz también debe ajustarse según el sistema de cultivo, por ejemplo, si se realiza rotaciones con pasturas o con cultivos como la soya (FLAR, comunicación personal). Las variedades más sembradas a nivel comercial durante los años 2015 a 2016 en diferentes países de LAC, se presentan en la Tabla 4.

A pesar de la vasta dispersión geográfica del cultivo, hasta la fecha, no encontramos suficientes reportes de modelación mecanística que nos permitan ilustrar un ejemplo para cada agro-ecosistema y/o manejo de cultivo. Con el fin de validar y/o optimizar el uso de la modelación mecanística para diferentes escenarios de cambio climático en LAC, existe entonces la necesidad de desarrollar más estudios de modelación que representen las diferentes combinaciones de agro-ecosistema-manejo-clima.

² Zona templada: Argentina, Brasil (Estado de Rio Grande do Sul), Chile y Uruguay

Zona tropical: Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, México, Nicaragua, Honduras, República Dominicana, Guyana, Panamá, Perú y Venezuela

Tabla 3. Meses de siembra reportados en las estaciones experimentales de FLAR para la zona tropical (riego y secano) y la zona templada (riego), para los años 2015 a 2016

Mes de Siembra	Zona Tropical Sistema de Riego	Zona Tropical Sistema de Secano	Zona Templada Sistema de Riego
Enero	Belice, Ecuador, Panamá, Perú, República Dominicana, México	Honduras	Brasil
Febrero	Belice, Honduras, México		
Marzo	Belice, Colombia, México		
Abril	Colombia	Colombia	
Mayo	México, Perú, República Dominicana, Venezuela	Costa Rica, Colombia	
Junio	Ecuador, República Dominicana, Costa Rica	México	
Julio	Ecuador, Nicaragua, Perú, Bolivia	Belice, México, Honduras, Panamá	
Agosto	Panamá, Costa Rica		
Septiembre	Colombia, Honduras	Costa Rica, Colombia, Perú	Uruguay, Brasil, Chile
Octubre	Colombia		Uruguay, Argentina
Noviembre	Bolivia, Nicaragua, Venezuela, Perú	Bolivia, Honduras	Chile, Uruguay
Diciembre	Costa Rica, República Dominicana, Costa Rica	Bolivia, Ecuador	

Tabla 4. Variedades más sembradas en las estaciones experimentales miembros de FLAR para el periodo 2015-2016 (zona tropical y templada)

	País	Variedad más sembrada	Otras variedades sembradas
Zona Tropical Sistema de Riego	Perú	IR43	La Esperanza, Fortaleza, Tinajones
	Colombia	Fedearroz 2000	Fedearroz 473, Fedearroz 67, Fedearroz 60
	Ecuador	INIAP 14	SFL09, INIAP 11
	Bolivia	MAC 18	IAC 101, EPAGRI, Grano de oro
	Panamá	IDIAP FL 1137-11	Fedearroz 473, IDIAP 5205
	República Dominicana	Jaragua FL	Quisqueya, Puita Inta CL
	México	Milagro Filipino	Aztecas, INFLAR R
	Costa Rica	Palmar 18	Puita Inta CL, CFX18, Sierpe FL250
	Honduras	DICTA Comayagua	DICTA playitas, ANAR 97, ANAR 2012
	Nicaragua	ANAR 97	INTA N1, Palo 2
Zona Tropical Sistema de Secano	Perú	La Esperanza	La Conquista
	Colombia	Fedearroz 174, Fedearroz 68	Fedearroz 2000, Victoria
	Ecuador	INIAP 14	INIAP 11, INIAP 15, SFL09
	Bolivia	MAC 18	URUPE, TARI, Grano de oro, Jasaye
	Panamá	IDIAP FL 1137 -11	Estrella 71, IDIAP 5405
	México	Milagro Filipino	Aztecas, Morelos
	Costa Rica	Palmar 18	PUITA INTA , Tempisque CL, CFX 18
	Honduras	ANAR 97, INTA Dorada	Dicta Comayagua, Dicta Playitas
Zona Templada Sistema de Riego	Uruguay	El Paso 144	INIA Olimar. INIA Tacuarí
	Brasil	Puita Inta CL	Guri Inta CL, IRGA 424
	Chile	Zafiro INIA	Diamante INIA
	Argentina	Guri INTA CL	IRGA 424, Puita Inta CL

6. Análisis de caso de los estudios de modelación y agronómicos

Como resultado de la revisión bibliográfica de artículos de modelación mecanística en LAC, destacamos cinco estudios (tres en Brasil, uno en Chile y uno en Cuba) que reportan datos para la calibración de modelos de cultivo en arroz. La Tabla 5 resume el tipo de datos reportados para tres categorías: clima, suelo y manejo (6 artículos). Para mayor información de los demás artículos, contactar a los autores (ver Anexo 3)

Calibración y validación del modelo ORYZA-APSIM para el arroz de tierras altas en Brasil (Lorençoni *et al.*, 2010)

Lorençoni *et al.* (2010) calibraron los modelos ORYZA2000 (Bouman & Van Laar, 2006) y APSIM (Keating *et al.*, 2003), con el fin de simular el crecimiento y desarrollo de la variedad BRS-Primavera bajo un sistema de producción por secano en tierras altas (altiplano). Para la calibración de los modelos se utilizaron dos experimentos realizados en la región de Santo Antônio de Goiás, en noviembre y diciembre del 2008. La calibración del modelo de cultivo se realizó utilizando datos del desarrollo de la planta (acumulación de unidades diarias de calor efectivo), el crecimiento en área foliar, biomasa seca, clima, suelo y manejo (Tabla 5). Para la validación del modelo, se utilizaron datos de rendimiento obtenidos de experimentos anteriores que fueron desarrollados dentro de tres localidades: Santo Antônio de Goiás, Sorriso y Gurupi.

Los resultados mostraron que la relación entre lo observado y lo simulado por el modelo para la productividad en grano de dos localidades (Santo Antônio de Goiás y Sorriso), mostró un R^2 de 66.1%, lo que representó porcentajes de error estándar máximos entre el 9% para Santo Antônio de Goiás y 12 % para Sorriso. Los valores simulados de rendimiento en grano obtenidos fueron de 3198 a 4574 kg ha⁻¹ para Santo Antônio de Goiás y de 4480 kg ha⁻¹ para Sorriso. Los autores concluyeron que aunque el modelo permitió simular con precisión el rendimiento, se presentaron sobreestimaciones en la duración en días de emergencia a floración, para lo que sugirieron modificar las ecuaciones de acumulación diaria de unidades de calor, especialmente cuando las latitudes se acercan al Ecuador. Además, aconsejan que se deben realizar más evaluaciones de la acumulación de biomasa total y en los órganos para diferentes variedades cultivadas y bajo condiciones de estrés hídrico.

Simulación del crecimiento y el rendimiento del arroz en Rio Grande do Sul, según el modelo SimulArroz (Rosa *et al.*, 2015)

Rosa *et al.* (2015) utilizaron el modelo mecanístico SimulArroz (Streck *et al.*, 2013) con el fin de simular el rendimiento de grano de arroz para diferentes zonas de la región de Rio Grande do Sul (Brasil). Para la calibración del modelo, se utilizaron datos de acumulación de materia seca en órganos provenientes de 2 ensayos desarrollados en el sitio experimental de Santa María (Depresión Central de Rio Grande do Sul), en dos periodos de tiempo 2011-2012 y 2012-2013. Utilizaron también datos de clima, suelo y manejo. Se estudiaron cuatro variedades: IRGA 421, IRGA 424, BRS Querência y SCSBRS Tio Taka. Para la validación del modelo se utilizaron datos de 27 fechas de siembra que hacían parte de experimentos agronómicos reportados para la región evaluada.

Los resultados mostraron una correlación mayor a 0.82 entre la biomasa observada y simulada para la región de Rio grande do Sul. Los valores promedio reportados para la productividad en 5 zonas evaluadas (Depresión Central, Frontera oeste, Llanura Costera exterior e interior de la Laguna de los Patos y la Zona Sur), variaron entre 7938 a 9774 kg ha⁻¹. La productividad media observada y simulada para cada región presentó un RMSE promedio de 1541 kg ha⁻¹. Los autores concluyen que el modelo SimulArroz permite capturar la variación en la producción en función de la oferta ambiental de cada zona, con una precisión media superior al 70%.

Impacto y vulnerabilidad del cambio climático en la agricultura brasileña (Delgado *et al.*, 2016)

Un reporte realizado en el 2016 por el Ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación de Brasil recopiló estudios realizados con los modelos de simulación agro-climática (SCenAgri, BESM, Eta, HadGEM2-ES, MIROC5) y estudios de la variabilidad climática en el país.

En el Capítulo 4 de este informe, Delgado *et al.*, (2016) realizaron un estudio sobre la vulnerabilidad del sector agrícola de Brasil, frente a escenarios de cambio climático. Este estudio utilizó la modelación mecanística para clasificar zonas de alto y bajo riesgo determinando el porcentaje de reducción en el área de siembra para diferentes cultivos. En ese estudio no se especifican los datos utilizados para calibración o validación del modelo utilizado. Para la simulación del cambio en el área de siembra de arroz, se utilizó el modelo SCenAgri (Simulador de Escenarios Agrícolas), con datos del modelo climático regional Eta, y modelos globales MIROC5 y HadGEM2.

Tabla 5. Datos de los experimentos utilizados para la calibración de algunos modelos mecanísticos en LAC

		Brasil				Chile	Cuba
Generalidades	Autor*	Lorençoni <i>et al</i>	Rosa <i>et al</i>	Heinemann <i>et al</i>	Heinemann <i>et al</i>	Artacho <i>et al</i>	Hernández Córdova <i>et al</i>
	Año de la publicación	2010	2015	2015	2008	2011	2016
	Localidad experimental para la calibración del modelo	Santo Antônio de Goiás	Santa María	Santo Antônio de Goiás	Estado de Goiás	Tucapel-	Los Palacios Pinar del Río
	Latitud-Longitud Altitud (msnm)	-16.5, -49.3 811	-29.71, -53.71 95	-16.47, -9.28 823	-12.8 - -9.5 S -49.0 - -50.9 W 400-1300 msnm	-36.1, -71.88 161	22.55, 83.3 44
	Modelo utilizado	ORYZA-2000	SimulArroz	ORYZA-2000	RICE06 (derivado de SARRAH)	ORYZA-2000	DSSAT y ECHAM
	N° de experimentos	2	4	6	ND	1	4
	Año del experimento	2008-2009	2011-2012	2008-2013	Ver Figura 3	2005 y 2007	2008-2012
Suelo	Tipo de suelo	Oxisol	ND	Franco arcilloso, Arcillo arenoso, Franco arcillo arenoso	Oxisols / Latosols	Arcilloso, Clasificación Aquic Durixerets (USDA)	Hidromorfoico gley granular ferruginoso húmico petroférico
	Punto de marchitez permanente (%)	0-10cm: 20 10-20cm:23 20-30cm:20 30-40cm: 20	ND	ND	ND (Información proveniente de la base de datos de EMBRAPA)	ND	ND
	Capacidad de Campo (mm)	0-10cm: 35 10-20cm:36 20-30cm:32 30-40cm: 30	ND	Franco arcilloso: 22 Arcillo arenoso:25 Franco arcillo arenoso: 19	100mm m ⁻¹	ND	ND
	Saturación (mm)	0-10cm: 47 20-30cm:41 30-40cm: 44	ND	Franco arcilloso: 51 Arcillo arenoso: 48 Franco arcillo arenoso: 45	ND (Información proveniente de la base de datos de EMBRAPA)	ND	ND

		Brasil				Chile	Cuba
	Densidad aparente (g/cm ³)	0-10cm: 1.21 10-20cm:1.33 20-30cm:1.41 30-40cm: 1.24	ND	Franco arcilloso: 1.15 Arcillo arenoso:1.24 Franco arcillo arenoso: 1.32	ND (Información proveniente de la base de datos de EMBRAPA)	ND	ND
Manejo del cultivo	Sistema de siembra	Secano	Riego	Secano y Riego (3+3 experimentos)	Secano	Riego	Riego
	Variedad	BRS Primavera	IRGA 421 IRGA 424 BRS Querência SCSBRS Tio Taka	BRS Primavera	Guarani y Caiapao	Diamante INIA	LP-5
	Método de siembra	ND	Trasplante	Siembra directa	ND	Manual	
	Densidad de siembra	ND	200 plantas/m ²	ND	ND	150 kg de semilla/ha	ND
	Distancia entre surcos (cm)	ND	17	ND	ND	ND	ND
	Fertilizante Nitrógeno (kg ha ⁻¹)	20 (siembra); 40 (Inicio de panícula y macollaje)	ND	ND	ND	0, 50, 75, 150, 300	ND
Ciclo del cultivo	Fecha de siembra	17/11/2008	17/10/2011	08/11/2008	ND	Octubre y Noviembre 2006	2008-2012
		29/12/2008	18/11/2011	20/12/2008		ND	ND
			19/12/2011	18/11/2009			
			19/10/2012	06/12/2010			
				11/09/2012			
				20/10/2012			
	Fecha de cosecha	2009	2011-2012 2012-2013	ND	ND	13/04/2007 09/05/2007	ND
	Ciclo de cultivo (días)	>120	ND	100 -120	ND	>120	130

Se simularon los escenarios climáticos reportados en el Quinto Informe del IPCC (AR5): RCP 4.5 un escenario con intermedias a bajas emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y RCP 8.5 con altas emisiones de GEI.

Los resultados obtenidos mostraron que el área sembrada de arroz reduciría para el año 2025 en relación al área reportada para el 2012 (2.412.987 ha) en un 4.4 % en el escenario RCP 4.5 y un 7.2 % en el RCP 8.5. Mientras que para el año 2085, las reducciones alcanzarían un 4 % en el escenario RCP 4.5 y un 13.9 % en escenario RCP 8.5. Este estudio concluye que los modelos de simulación se deben utilizar como una herramienta para encontrar alternativas del manejo de cultivo de arroz en Brasil frente al aumento de temperaturas y el cambio climático en general.

Cambio climático y la agricultura en America Latina, 2020-2050: Impactos proyectados y respuestas a las estrategias de adaptación (Fernandes *et al.*, 2012)

En este estudio, que abarca toda América Latina, Fernandes *et al.* (2012) exploraron sistemáticamente los impactos del cambio climático en los rendimientos del maíz, trigo, soja y del arroz y los efectos de adaptaciones “simples” como cambiar las fechas de siembra y elegir variedades con un ciclo de crecimiento más largo, en las principales regiones productoras de estos cultivos. Para el arroz, solo se simularon sistemas totalmente irrigados, considerando la producción potencial y limitada por la piricularia (enfermedad producida por el hongo *Pyricularia*), utilizando el modelo WARM (Confalonieri *et al.*, 2009) implementado en la plataforma BioMA. La calibración del modelo se basó en un estudio de literatura limitado centrado en experimentos de dos regiones productivas importantes, en el centro de Brasil y el norte de Argentina.

Bajo estos supuestos, encontraron efectos positivos del cambio climático (de acuerdo con la proyección de Hadley A1b hasta 2050) sobre los rendimientos para la mayoría de los países, pero efectos negativos para Brasil, el mayor productor de arroz de LAC. Los impactos negativos podrían ser compensados por las opciones de adaptación estudiadas. Sin embargo, aunque estos son conceptualmente simples, se reconoce que a menudo requieren intervenciones importantes. Por ejemplo, un cambio en el calendario de cultivo para beneficiarse de una mayor radiación y una menor presión de la piricularia durante la estación seca requiere grandes inversiones para garantizar la disponibilidad de agua de riego a lo largo del ciclo de crecimiento.

Variación e impacto de patrones de sequía a través del sistema de arroz por secano de tierras altas en diferentes ambientes de Brasil (Heinemann *et al.*, 2015)

Heinemann *et al.* (2015) utilizaron el modelo ORYZA2000 (Bouman & Van Laar, 2006) para la identificación de patrones de sequía, su frecuencia y el impacto sobre el rendimiento y desarrollo del cultivo de arroz de secano en las zonas de Cerrado de Brasil. En este estudio se calibró y validó el modelo para simular la variedad BRS Primavera bajo sistemas de secano, en la localidad de Santo Antônio de Goiás. Los datos para la calibración fueron obtenidos de una serie de 6 experimentos desarrollados durante los años 2008 a 2013. Los datos para la validación del modelo vinieron de un total de 11 experimentos realizados entre 2004 y 2011. La simulación se realizó con el fin de caracterizar ambientes de producción de arroz de tierras altas en Brasil. Los datos climáticos correspondieron al periodo de 1980 a 2012, para 8 fechas de siembra, 7 tipos de suelo, utilizando datos climáticos de 51 estaciones meteorológicas que hacen parte de la zona de siembra de arroz de secano de tierras altas en Brasil.

Las simulaciones permitieron generar datos de rendimientos, transpiración acumulada y radiación solar absorbida por ciclo de cultivo en toda la zona de Cerrado. Con base en estas simulaciones, se definieron tres tipos de ambientes (altamente favorable, favorable y poco favorable), siendo el ambiente altamente favorable aquel que presentó menos estrés hídrico a durante el ciclo del cultivo (vegetativo, reproductivo y llenado de grano). Heinemann *et al.* (2015), concluyeron que el programa de mejoramiento de arroz de secano en Brasil necesita expandir su enfoque, con el fin de incluir dentro de las evaluaciones, el comportamiento productivo de las variedades frente a diferentes situaciones de estrés hídrico, que puedan afectar principalmente las etapas reproductivas y terminales.

El cambio climático y sus efectos sobre el rendimiento del arroz de regadío en Rio Grande do Sul (Walter *et al.*, 2014)

En este trabajo se utilizó el modelo SimulArroz (Streck *et al.*, 2013) con el fin de simular el rendimiento de las variedades sembradas en la región de Rio grande do Sul bajo escenarios climáticos futuros. Se tuvo en cuenta que el modelo ya había sido calibrado y validado por Rosa (2013). Para la validación del modelo se utilizaron datos de los rendimientos de dos periodos de siembra entre los años de 1984 a 1985 y 2013 a 2014. El modelo logró simular el rendimiento de forma satisfactoria, encontrándose un RMSE entre 0.83 a 1.37 ton ha⁻¹.

Las simulaciones se realizaron bajo escenarios futuros propuestos por el cuarto informe del

Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en ingles), en un periodo de tiempo de 140 años (1960-2099). Para el análisis, la Región de Rio Grande do Sul fue dividida en 6 regiones productoras: Frontera oeste, Campaña, Depresión central, Zona sur y la Planicie costera interna y externa.

El resultado de las simulaciones mostró que factores como la variación en la temperatura, la concentración de CO₂ y la presencia de heladas influyen directamente en los rendimientos finales de una zona a otra, ya sea causando esterilidad de las espiguillas, reducción en el número de granos, o variaciones en la producción debido al aumento o reducción de las tasas fotosintéticas. Por ejemplo: en la zona de la Frontera Oeste se encontró que temperaturas superiores a 35 °C podrían causar esterilidad de espiguillas. Además, se reportó que para los meses de enero y febrero no es recomendable la siembra en ninguna región, ya que pueden ocurrir reducciones de hasta el 100% en el rendimiento debido a que procesos como la antesis se ven afectados por las bajas temperaturas (heladas). Este modelo permitió a los autores estimar el periodo favorable para la siembra en los escenarios futuros, que varía en función de la zona (Walter et al., 2014).

Adaptación y evaluación del modelo InfoCrop para simular el rendimiento de grano de arroz de regadío (Walter et al., 2012)

En el trabajo realizado por Walter et al. (2012) se validó la versión del modelo de cultivo InfoCrop (Aggarwal et al., 2006) y se realizaron simulaciones del rendimiento del arroz irrigado en la región de Santa María de Brasil. Las simulaciones se realizaron para cuatro periodos de tiempo (1996-1997, 2008-2009, 1998-1999 y 2005-2006) y tres variedades (IRGA 421, IRGA 417 Y EPAGRI 109).

En este experimento se utilizó el modelo InfoCrop, con el cual los autores obtuvieron un RMSE de 0.795 Mg ha⁻¹ para rendimiento en grano. Los autores concluyeron que el modelo permitió simular de forma satisfactoria el rendimiento; sin embargo, hubo sobreestimaciones en los periodos de Niño (altas precipitaciones) y la Niña (sequías). Los autores sugirieron que se deben realizar estudios con modelos donde se considere el efecto sobre el rendimiento de factores abióticos adicionales como velocidad del viento, humedad relativa, saturación del aire y fertilización, y factores bióticos como plagas y enfermedades.

Evaluación del modelo de crecimiento de arroz ORYZA2000 en condiciones limitadas de nitrógeno bajo riego (Artacho et al., 2011)

Artacho et al., (2011) aplicaron el modelo ORYZA2000 (Bouman & Van Laar, 2006) para

simular el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la productividad de arroz en Chile. La variedad Diamante INIA fue calibrada en el modelo ORYZA2000 usando datos de un ciclo de siembra 2006-2007, de la estación experimental de Tucapel. Para la validación se utilizaron datos de 4 ciclos de siembra, que correspondieron al periodo 2005-2006 para 3 localidades (Tucapel, Santa Isabel y Unicaven) (Tabla 5). Dentro de cada experimento se evaluaron diferentes dosis de nitrógeno, que variaron entre 0 a 300 kg N ha⁻¹ (Tabla 5). El modelo simuló el uso de nitrógeno con un RMSE de 20 kg ha⁻¹ y el rendimiento con un RMSE de 1666 kg ha⁻¹. Los autores reportaron una sobreestimación de la biomasa de panículas explicando el alto RMSE obtenido para rendimiento y sugieren que el modelo debe mejorar la simulación de la fertilidad de los granos en ambientes templados (sensibilidad al frío y la interacción con las aplicaciones de nitrógeno).

Las simulaciones con datos climáticos de un periodo de 100 años consecutivos (generados con los datos recolectados de las estaciones meteorológicas), Demostraron que el rendimiento potencial del cultivo puede estar en 10233 kg ha⁻¹, alcanzando valores de hasta 11000 a 12000 kg ha⁻¹ en un 30 % de los casos. En algunos casos, los rendimientos potenciales simulados fueron inferiores a los rendimientos observados en condiciones óptimas.

En este estudio el modelo permitió simular el rendimiento en función de la fertilización nitrogenada y fue utilizado para proponer estrategias de manejo del cultivo. Los autores concluyen con la necesidad de realizar más experimentos y así aumentar la confiabilidad del modelo para simular la producción de biomasa, la esterilidad de las espigas y la absorción de nitrógeno en ambientes templados.

Utilización de un modelo de simulación para la predicción del comportamiento de algunos cereales en las condiciones de Cuba (Hernández Córdova *et al.*, 2016)

Hernández Córdova *et al.* (2016) utilizaron el plataforma de modelación de cultivos DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) versión 3.5, para predecir el rendimiento de 4 cereales (arroz, maíz, sorgo y trigo) en las condiciones ambientales del manejo de los cultivos en Cuba. Para el cultivo de arroz, se evaluó la variedad LP-5. Las variables utilizadas en la calibración del modelo fueron tomadas de 4 experimentos, los cuales fueron desarrollados en la localidad de Los Palacios - Pinar del Río. Los datos climáticos (temperatura y precipitación) fueron obtenidos de tres estaciones meteorológicas (Tapaste, San Diego de los Baños en Pinar del Río y Guantánamo). La calibración del

modelo para las variables fecha de floración, madurez fisiológica, rendimiento, peso de un grano, granos m⁻², granos espiga⁻¹, índice de área foliar (IAF) e índice de cosecha (IC), presentaron los mejores resultados para RSME. Para 3 localidades (Tapaste, Guantánamo y los Palacios del Río), se realizaron simulaciones de los escenarios futuros (2025 y 2050) utilizando una base de datos climáticos proporcionada por el Instituto de Meteorología con base en el modelo climático ECHAM, y el escenario de emisiones A2 (alto contenido de GEI), reportado en el cuarto informe de la IPCC (AR4).

Las simulaciones en escenarios futuros mostraron que la mayor reducción del rendimiento se presentó en la localidad de Guantánamo, donde desde 4816 kg ha⁻¹, registrados en los experimentos, para el año 2050 los resultados arrojaron un rendimiento de solo 1962 kg ha⁻¹, un porcentaje de reducción del 59.2 %. Hernández Córdova *et al.* (2016) consideran que el modelo es una herramienta útil para establecer estrategias de manejo alternativo en escenarios de cambio climático, enfocado principalmente en los cambios en las fechas de siembra. Sin embargo, los autores ven la necesidad de realizar más evaluaciones con otras variedades y de tener acceso a un mayor número de experimentos para la calibración y/o validación del modelo.

Caracterización de ambientes con estrés hídrico para arroz de secano y maíz en el centro de Brasil (Heinemann et al., 2008)

Heinemann *et al.* (2008), caracterizaron la variación geográfica e interanual de patrones de estrés por sequía en la zona de Cerrado, Brasil, para dos cultivos: arroz de secano y maíz. Para arroz, se utilizó el modelo RICE06 derivado del modelo SARRHA-H (Sistema de Análisis Agro Climatológico Regional de Riesgos) (Baron *et al.*, 2003), perteneciente a la plataforma de modelaje del CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo) (Dingkuhn *et al.* 2003; Sultan *et al.* 2005; Baron *et al.* 2005). La región de estudio fue el estado de Goiás, dividido en 12 localidades. Para la calibración y validación se utilizaron datos de fenología, biomasa y rendimiento de 2 variedades: Guarani y Caiapo provenientes de EMBRAPA (Figura 3). Los datos climáticos utilizados fueron precipitación, temperatura máxima y mínima, velocidad del viento, humedad máxima y mínima y radiación solar. La simulación se realizó para un periodo de 6 años con 30 ambientes en 12 localidades y 2 temporadas de siembra (1° de noviembre a 31 de diciembre para variedad de ciclo corto y 15 de octubre a 31 de diciembre para variedad de ciclo medio) y dos profundidades de suelo 0.4 m y 0.8 m, en suelos oxisoles.

Las simulaciones mostraron que la fase del cultivo sensible al estrés hídrico es diferente según las variedades. La fase reproductiva fue la fase más sensible para la variedad de ciclo corto Guarani mientras que la fase de llenado de grano fue la fase más sensible para la variedad de ciclo largo Caiapo. En general, la reducción del rendimiento simulada para los dos tipos de profundidades de suelo (0.80 y 0.40m) fue de 18 y 36% respectivamente para la variedad de ciclo corto y 12 y 33% para la de ciclo medio. Heinemann *et al* (2008), concluyeron que este tipo de modelo es una herramienta útil para que los programas de mejoramiento evalúen la relación entre la profundidad del suelo y la respuesta a patrones de sequía de diferentes variedades sin embargo depende de la disponibilidad de datos climáticos. Como último proponen realizar más estudios donde se combinen un mayor número de sitios y siembras para evaluar el comportamiento en los suelos poco profundos (0.40m).

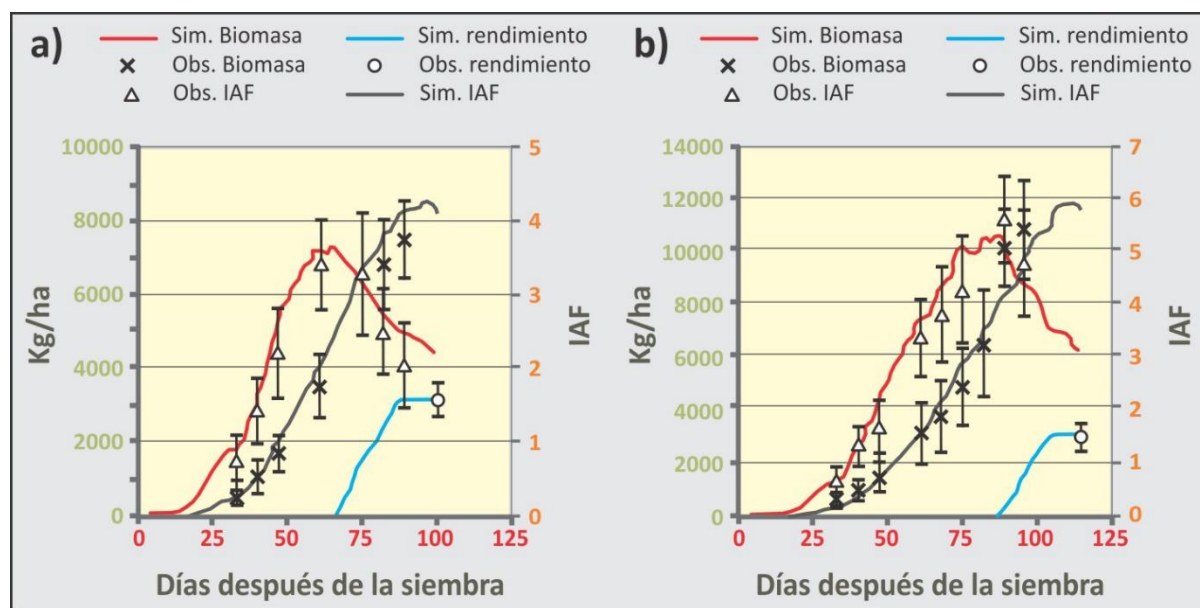


Figura 3 Comportamiento de arroz de secano observado y simulado en el modelo de cultivo RICE 06 para (a) arroz de ciclo corto y b) arroz de ciclo medio. Fuente: adaptada de Heinemann *et al.*, 2008.

7. Índices agro-fisiológicos de ensayos experimentales en campo

Datos de crecimiento y desarrollo de genotipos de arroz, evaluados a través de ensayos experimentales de campo, en diferentes localidades arroceras (Colombia y Brasil)

Índices agro-fisiológicos: área foliar y biomasa seca total (Colombia)

Durante los años 2013 a 2016 el CIAT en asociación con Fedearroz (Federación Nacional de Arroceros), el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Colciencias, realizó una serie de experimentos para evaluar el crecimiento y desarrollo de 2 variedades de arroz, en 4 estaciones experimentales de Colombia representando los 2 sistemas de producción: secano (Santa Rosa-Villavicencio) y riego (Aipe-Huila, Saldaña-Tolima y Montería-Córdoba). Todos los experimentos se llevaron a cabo con el fin de coleccionar datos de fenología, biomasa, área foliar, rendimiento y sus componentes (i.e. índice de cosecha, peso de 1000 granos, peso fresco y seco total, número de panículas y tallos por m², granos por panícula, granos llenos por panícula y tallos efectivos). Las variedades evaluadas fueron Fedearroz 2000 e IR64.

A continuación, se describe el manejo agronómico y las principales características de cada ambiente (suelo, clima) (Tabla 6), las variables de crecimiento (biomasa total, Figura 4; área foliar, Figura 5) y desarrollo fenológico (Tabla 6) y el rendimiento que fueron registradas para las 2 variedades.

- **Manejo agronómico:** En las cuatro localidades la siembra se realizó con el método de siembra directa, utilizando una densidad de 60 kg de semilla ha⁻¹, con distancias de surcos entre 0.20 a 0.25 m y con semilla no pregerminada en suelo seco. Aipe y Montería realizaron siembra manual mientras que Saldaña realizó siembras mecanizadas; las tres localidades se sembraron bajo riego. En Santa Rosa se realizaron siembras manuales y mecanizadas bajo un sistema de secano. A través de las localidades, la fertilización de N-P-K registró valores mínimos de 69-23-90 kg ha⁻¹ y valores máximos de 261-99-187 kg ha⁻¹ (Tabla 6).
- **Suelos:** En cada una de las localidades se realizaron análisis de suelo antes de las siembras. A través de los ensayos, los valores de pH variaron entre 4.9 y 7.75. Aipe presentó un suelo de tipo arcilloso con una densidad aparente promedio para los

primeros 60 cm del suelo de 1.41 g cm^{-3} . En Montería se encontraron suelos franco arcillosos con densidades promedio de 1.39 g cm^{-3} . Saldaña con texturas de suelo tipo franco, mostró una mayor densidad promedio con 1.62 g cm^{-3} . Finalmente, Santa Rosa presentó suelos con textura franco arcilloso limoso y la densidad aparente promedio de 1.41 g cm^{-3} . En relación al contenido de Nitrógeno orgánico total los valores mínimos en promedio a través de las 4 localidades fueron de 354 mg kg^{-1} y los valores máximos de 2673 mg kg^{-1} .

- **Clima:** El tiempo para los 4 años de estudio se registró de forma horaria usando estaciones meteorológicas ubicadas en cada sitio de ensayo. Considerando el promedio en los años del ensayo (2013-2015), durante los ciclos de siembra (emergencia a cosecha) la temperatura máxima promedio más alta ($35.62 \text{ }^{\circ}\text{C}$) se registró en Saldaña mientras que la temperatura mínima promedio más baja se registró en Santa Rosa con un valor de $21.68 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Santa Rosa fue la localidad con el mayor promedio diario por ciclo de precipitaciones (9.53 mm) en la siembra número 2. Además, Santa Rosa registra también el mayor promedio de precipitación acumulada por ciclo con 1161 mm en la siembra número 5. La radiación acumulada por ciclo fue mayor en Saldaña y Aipe con valores de 2622 y 2303 MJ m^{-2} , para las siembras 4 y 3 de Saldaña y 2550 y 2503 MJ m^{-2} , para las siembras 1 y 6 de Aipe (Tabla 6).

A través de las localidades, y diferentes siembras, el ciclo de desarrollo para la variedad Fedearroz 2000 varió entre 103 y 124 días, y para IR64 entre 99 y 116 días. El promedio de días a floración fue de 81 DDE (días después de emergencia) para Fedearroz 2000 y de 71 DDE para IR64.

En las Figuras 4 y 5 se observan las dinámicas de biomasa y área foliar para los 56 experimentos realizados. Bajo riego, el valor más alto de biomasa total registrado para Fedearroz 2000 se observó en Saldaña a los 111 DDE con un valor de 24695 kg ha^{-1} en la siembra 1 mientras que para IR64 se observó en Montería a los 94 DDE con un valor de 22602 kg ha^{-1} en la siembra 1 (Figura 4). En el sistema de secano (Santa Rosa), los mayores valores de biomasa total se observaron a los 113 DDE para Fedearroz 2000 y 88 DDE para IR64 con valores de 16061 kg ha^{-1} y 10967 kg ha^{-1} respectivamente (Figura 4).

Teniendo en cuenta todos los experimentos, el mayor rendimiento se observó en Montería con 9.16 ton ha^{-1} , en la siembra 4 para Fedearroz 2000. Para IR64 el mejor rendimiento se

observó en Saldaña alcanzando 6.97 ton ha⁻¹ en la siembra número 1. Los rendimientos más bajos fueron registrados en sistema de secano en Santa Rosa, con 1.94 ton ha⁻¹ y 1.47 ton ha⁻¹ para IR64 y Fedearroz 2000 respectivamente (Figura 6). Estos rendimientos bajos en secano se observaron en variedades que han sido desarrolladas para los sistemas de riego que no están adaptadas a condiciones de deficiencia hídrica.

Los datos presentados muestran la variabilidad del rendimiento para dos variedades a través del espacio (diferentes sitios) y del tiempo (diferentes fechas de siembra). Además, se observa que la variabilidad de rendimiento, está ligada a la plasticidad de las variedades en cuanto a dimensión, número, y masa de órganos en cada ambiente. Esta plasticidad debe ser tomada en cuenta a la hora de hacer uso de los modelos de simulación. Este set de datos tiene potencial para la calibración y validación de modelos de cultivo en arroz por las siguientes razones:

- Brinda datos completos de suelo, clima y manejo agronómico
- Captura la variabilidad espacial (diferentes sitios) y temporal (diferentes fechas de siembra) de los sistemas productivos.
- Permite diferenciar el comportamiento de dos variedades contrastantes
- Brinda información de la fenología, crecimiento y rendimiento para IR64 (variedad frecuentemente utilizada en los estudios de modelación), y para la variedad Fedearroz 2000, representativa de las variedades cultivadas en Colombia y de amplia adaptación.
- Muestra el desarrollo y crecimiento de las plantas bajo siembra directa, tanto en el sistema de secano como riego, lo que los hace relevantes para los sistemas productivos de arroz en LAC.

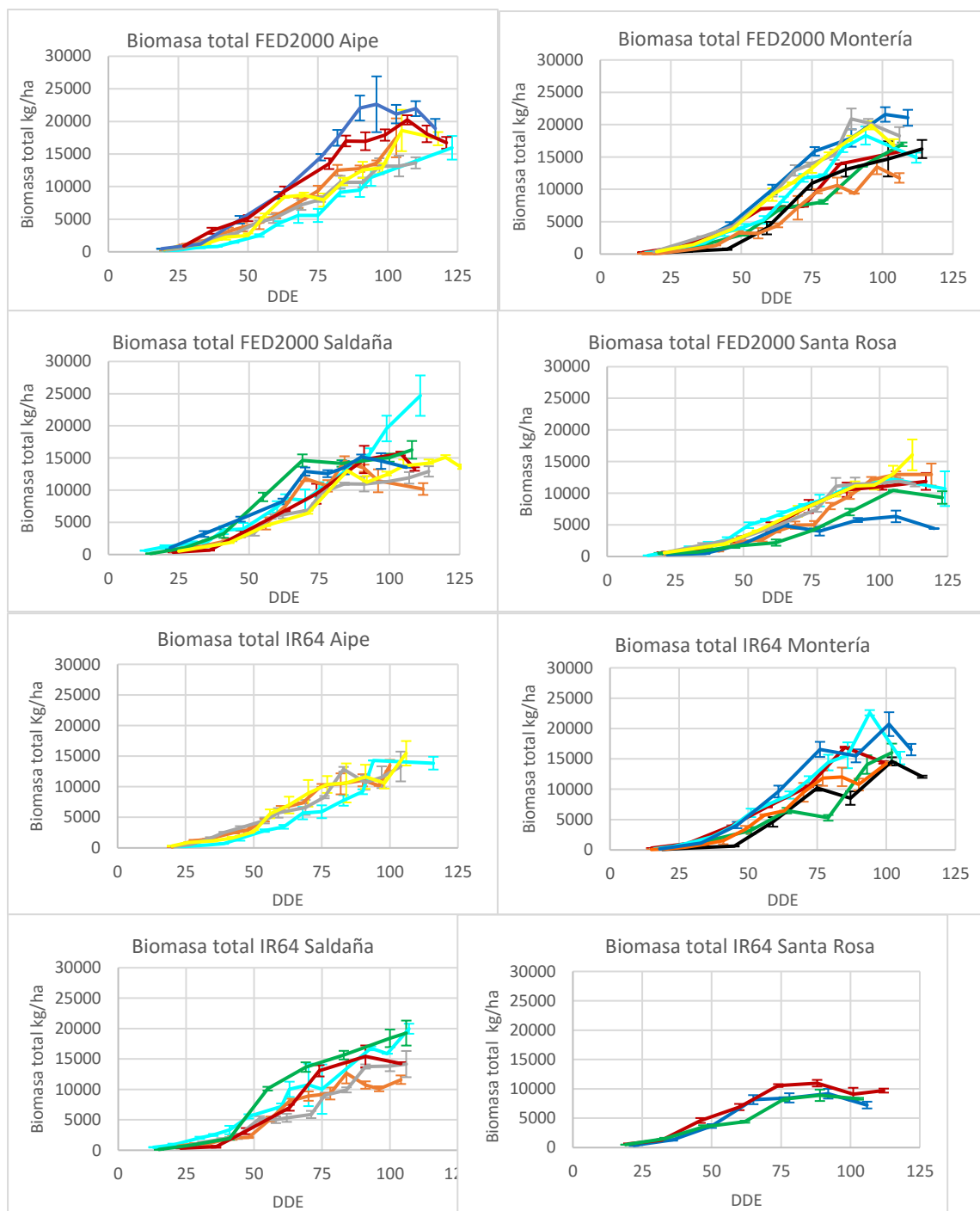


Figura 4. Biomasa total para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 4 localidades de Colombia (Aipe, Montería, Saldaña y Santa Rosa). Colores asignados a cada siembra: ver Figura 6.

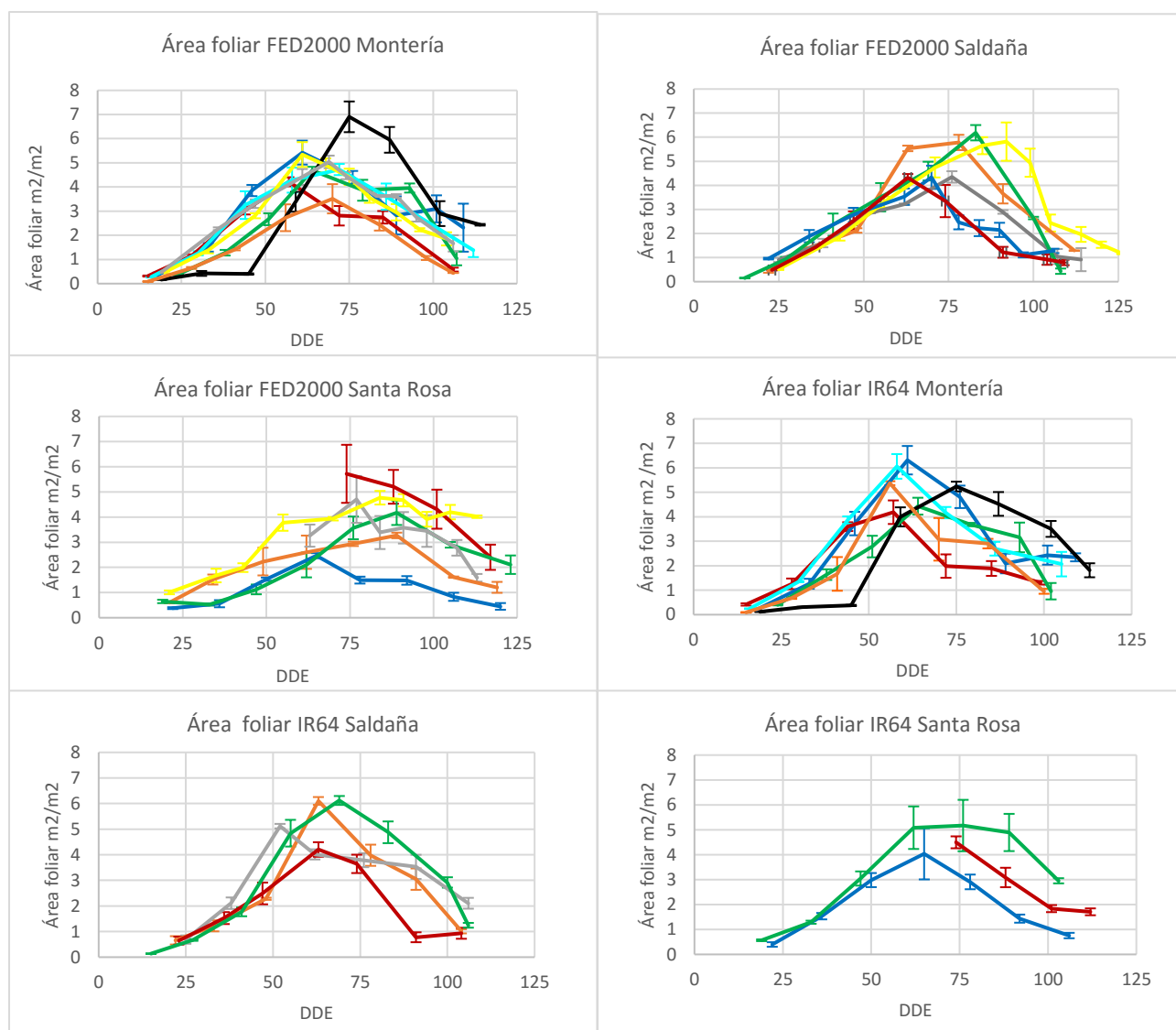
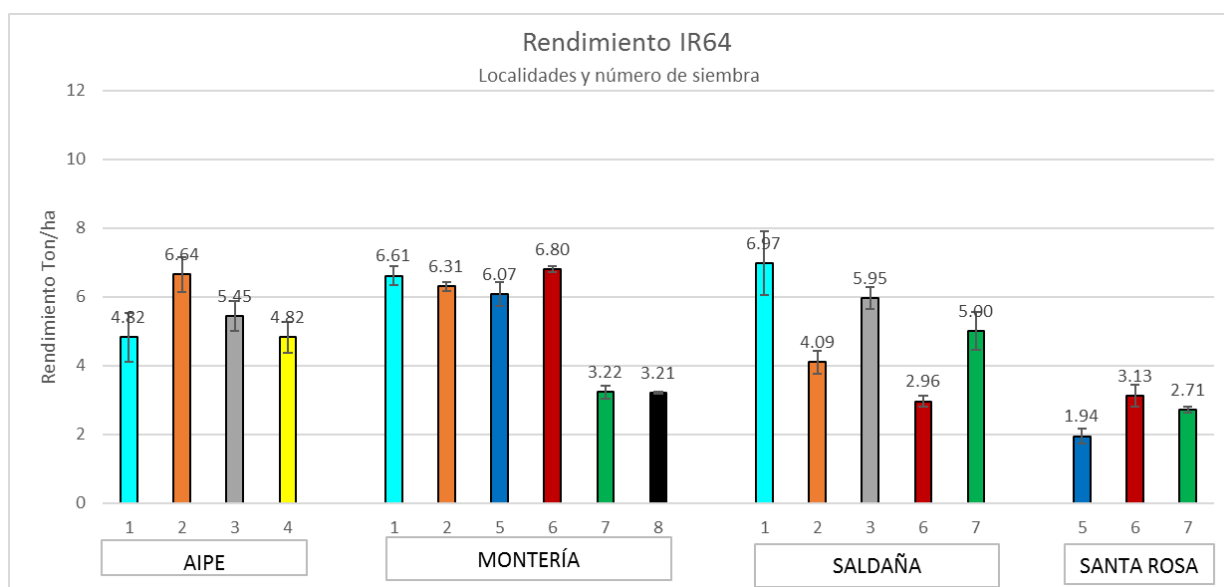
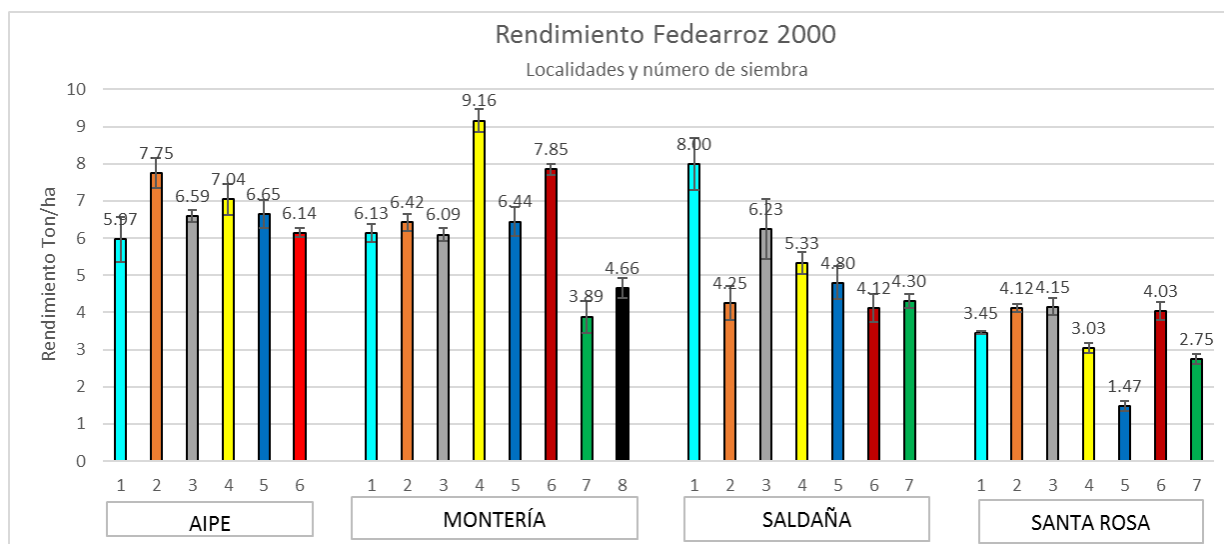


Figura 5. Area foliar para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 3 localidades de Colombia (Montería, Saldaña y Santa Rosa). Colores asignados a cada siembra: ver figura 6.



Colores asignados a cada siembra: Siembra 1 — , Siembra 2 — , Siembra 3 — , Siembra 4 — , Siembra 5 — , Siembra 6 — , Siembra 7 — , Siembra 8 — .

Figura 6. Rendimiento para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 4 localidades de Colombia (Aipe, Montería, Saldaña y Santa Rosa)

Tabla 6. Datos de los experimentos realizados en 4 estaciones de Colombia con Fedearroz 2000 e IR64

Localidad			Aipe	Montería	Saldaña	Santa Rosa
Generalidades	Latitud		3.25	8.11	3.91	4.03
	Longitud		-75.241	-75.85	-74.98	-73.47
	Altitud (msnm)		382	13	305	314
	Año del experimento		2013-2015	2014-2016	2013-2015	2013-2015
Suelo	Tipo de suelo (USDA)		Arcilloso	Franco-Arcilloso	Franco	Franco-Arcilloso
	Punto de Marchitez Permanente %	0-20 cm	34.0	31.2	24.7	33.7
		20-40 cm	32.9	30.7	20.6	32.3
		40-60 cm	33.5	29	14.2	33.2
	Capacidad de Campo %	0-20 cm	44.4	42.7	50.8	42.9
		20-40 cm	42.3	39.6	46.4	41.5
		40-60 cm	42.6	38.4	49	42.7
	Densidad aparente g/cm ³	0-20 cm	1.35	1.31	1.59	1.37
		20-40 cm	1.46	1.43	1.7	1.44
		40-60 cm	1.43	1.43	1.56	1.4
Manejo del cultivo	Método de siembra		Siembra directa	Siembra directa	Siembra directa	Siembra directa
	Variedad		Fedearroz 2000	Fedearroz 2000	Fedearroz 2000	Fedearroz 2000
			IR64	IR64	IR64	IR64
	Número de siembras		Fedearroz 2000 (6)	Fedearroz 2000 (8)	Fedearroz 2000 (7)	Fedearroz 2000 (7)
			IR64 (4)	IR64 (6)	IR64 (5)	IR64 (3)
	Densidad de semillas (kg/ha)		60	60	60	60
	Distancia entre surcos (m)		0.25	0.25	0.25	0.25
	Fertilizante N-P-K (kg/ha)	Siembra 1	206-60-141	119-46-105	226-23-111	69-84-126
		Siembra 2	213-54-152	119-46-105	261-52-137	128-52-180
		Siembra 3	213-54-152	99-23-120	261-52-137	112-48-187
		Siembra 4	213-54-152	99-23-120	245-53-126	117-48-118
		Siembra 5	203-49-127	113-46-90	245-53-126	128-51-109
		Siembra 6	203-49-127	113-46-90	217-42-94	161-99-169
		Siembra 7		103-46-90	217-42-94	133-46-90
		Siembra 8		103-46-90		

Tabla 6 (continuación)

Localidad			Aipe	Montería	Saldaña	Santa Rosa
Ciclo de cultivo	Fecha de siembra dd/mm/yyyy	1	28/05/2013,	30/05/2014	29/04/2013	12/05/2013
		2	04/01/2014	07/11/2014	05/12/2013	26/05/2014
		3	24/02/2014	23/06/2015	05/02/2014	07/05/2015
		4	06/08/2014	16/12/2015	07/10/2014	15/07/2015
		5	22/05/2015	17/07/2014	05/06/2015	15/07/2014
		6	16/10/2015	23/12/2014	03/11/2015	30/04/2015
		7		07/02/2015	20/02/2015	02/07/2015
		8		24/02/2015		
	Ciclo de cultivo (días) Promedio por variedad	1	Fedearroz 2000 (123) IR64 (116)	Fedearroz 2000 (112) IR64 (105)	Fedearroz 2000 (111) IR64 (107)	Fedearroz 2000 (124)
		2	Fedearroz 2000 (103) IR64 (100)	Fedearroz 2000 (106) IR64 (100)	Fedearroz 2000 (112) IR64 (104)	Fedearroz 2000 (119)
		3	Fedearroz 2000 (110) IR64 (104)	Fedearroz 2000 (109) IR64 (109)	Fedearroz 2000 (114) IR64 (106)	Fedearroz 2000 (120)
		4	Fedearroz 2000 (118) IR64 (106)	Fedearroz 2000 (106) IR64 (99)	Fedearroz 2000 (109) IR64 (104)	Fedearroz 2000 (117)
		5	Fedearroz 2000 (117)	Fedearroz 2000 (107) IR64 (102)	Fedearroz 2000 (108) IR64 (106)	Fedearroz 2000 (123) IR64 (106)
		6	Fedearroz 2000 (121)	Fedearroz 2000 (114) IR64 (113)	Fedearroz 2000 (122)	Fedearroz 2000 (113) IR64 (112)
		7		Fedearroz 2000 (106)	Fedearroz 2000 (106)	Fedearroz 2000 (112) IR64 (103)
		8		Fedearroz 2000 (104)		

Tabla 6 (continuación)

Localidad			Aipe	Montería	Saldaña	Santa Rosa
Clima	Promedio de temperatura máxima por ciclo de cultivo (siembra) (°C)	1	33.68	33.73	32.74	30.31
		2	33.42	35.13	32.5	30.36
		3	33.3	34.49	32.49	30.17
		4	33.73	33.07	35.2	32.08
		5	34.4	34.14	35.62	31.25
		6	35.58	33.24	32.97	30.27
		7		33.24	33.07	31.86
		8		33.22		
	Promedio de temperatura mínima por ciclo de cultivo (siembra) (°C)	1	23.29	24.48	23.01	22.22
		2	23.89	24.12	23.77	21.68
		3	23.67	24.96	23.82	21.95
		4	23.52	23.93	23.86	21.96
		5	23.23	24.11	24.55	21.81
		6	24.67	24.27	23.58	22.01
		7		24.51	23.89	21.98
		8		25.12		
	Precipitación acumulada en ciclo de cultivo (siembra) (mm)	1	131.9	468.2	403	1141.6
		2	111.8	24.9	368.6	994.7
		3	249	165.1	586.6	1143.2
		4	242	579.6	733	975.5
		5	78.7	513.8	398.4	1051.1
		6	216	129.6	333.4	1161.2
		7		129.6	362.2	1090.7
		8		129.8		
	Radiación solar acumulada por ciclo de cultivo (siembra) (MJ m ⁻²)	1	2549.88	1964.6	2254.71	2007.56
		2	2090.39	1811.61	2244.17	1889.89
		3	2155.7	1848.45	2303.48	1669.96
		4	2413.96	1871.99	2621.88	1967.88
		5	2415.53	1858.92	2296.38	2058.13
		6	2502.97	1948.63	2243.41	1785.87
		7		1302.1	2296.79	2127.16
		8		1968.85		

Índices agro-fisiológicos: crecimiento de área foliar y materia seca (Brasil)

En el programa de investigación en Arroz y Frijol de EMBRAPA se realizan anualmente ensayos experimentales para evaluar el desarrollo y crecimiento del cultivo de arroz bajo diferentes condiciones ambientales. Estos ensayos se enfocan en determinar la fenología, biomasa, área foliar, rendimiento y sus componentes. Al igual que en Colombia, estos datos son un insumo adecuado para la calibración de modelos de simulación. Entre los años 2009 y 2011 se evaluaron 3 cultivares de carácter comercial (BRS Curinga, Douradão y BRS Primavera) en tres ambientes ubicados en las localidades de Santo Antonio de Gôias (SAG) y Porangatu. Las características de los ensayos fueron las siguientes (Tabla 7):

- **Manejo agronómico:** La siembra se realizó a una densidad de 230 semillas m^{-2} , con distancias de surcos entre 0.25 m. Los experimentos se sembraron en 16/11/2009 (Porangatu), 13/11/2009 (SAG–2009), y 16/12/2010 (SAG–2010). Solamente en SAG–2010 se aplicó riego suplementario a los 8, 36, 40, 41, 42, 43, 50, 53, 54, 55 and 62 DDS (días después de siembra) a tasas de 2.4, 4.4, 3.3, 3.4, 3.7, 3.2, 3.5, 3.8, 3.7, 3.5 y 2.9 mm $día^{-1}$, respectivamente. Se realizó una fertilización de fósforo, potasio y zinc como sigue: 60 kg P ha^{-1} como superfosfato triple, 40 kg K ha^{-1} como cloruro de potasio, y 5 kg Zn ha^{-1} como sulfato de zinc. También se aplicó un total de 80 kg ha^{-1} de nitrógeno (como urea) en dos dosis: 50 % al principio del macollamiento, y 50 % en la fase de iniciación de panícula.
- **Suelos:** Los suelos en SAG son de textura arcillosa (59 % contenido de arcillas, 34 % arenas), mientras que en Porangatu son de textura areno arcillosa (42 % arcillas, 49 % arenas). Ambos suelos son ligeramente ácidos (pH=5.8 en SAG, y pH=6.4 en Porangatu). La capacidad de retención de agua de los primeros 40 cm de suelo es de 34 y 31 mm, respectivamente.
- **Clima:** El clima se registró a partir de la estación meteorológica en cada sitio experimental. Las temperaturas máximas y mínimas promedio registraron valores más altos en la siembra de Porangatu (33.2°C y 22.5 °C respectivamente) con respecto a SAG (29.0 y 28.0 °C en la siembra 1 y 19.7 y 19.4°C en la siembra 3) La precipitación acumulada por ciclo de cultivo fue mayor en los dos ciclos en SAG (902 y 1105 mm), en relación a Porangatu (539 mm).

Respecto a los resultados de los ensayos (Figura 7 y 8), para Santo Antonio de Gôias, se destaca que la variedad BRS Curinga, en la siembra 2, registró los valores más altos de

acumulación de biomasa seca total, alcanzando los 21951 kg ha⁻¹ a los 111 DDE, esto se relaciona directamente con el mayor rendimiento para arroz de secano registrado en estos experimentos, que fue de 4.84 ton ha⁻¹. En esta misma siembra se obtuvieron los valores más altos de biomasa seca total para las otras 2 variedades, siendo de 17067 kg ha⁻¹ para Douradão y de 17061 kg ha⁻¹ para BRS Primavera, lo que se reflejó en rendimientos de 2.91 ton ha⁻¹ y 2.64 ton ha⁻¹, respectivamente. El valor de área foliar más alto cercano a floración fue registrado en Curinga con 7.27 m² m⁻² a los 84 DDE en la siembra 2.

Para Porangatu (siembra 3 en las Figuras 7 y 8), la variedad Douradão registró el valor más alto en acumulación de biomasa seca total con 8666 kg ha⁻¹, a los 103 DDE, presentando también el mayor rendimiento (1.98 ton ha⁻¹), entre las tres variedades. Los rendimientos para Curinga y BRS Primavera fueron de 0.53 y 1.60 ton ha⁻¹, respectivamente.

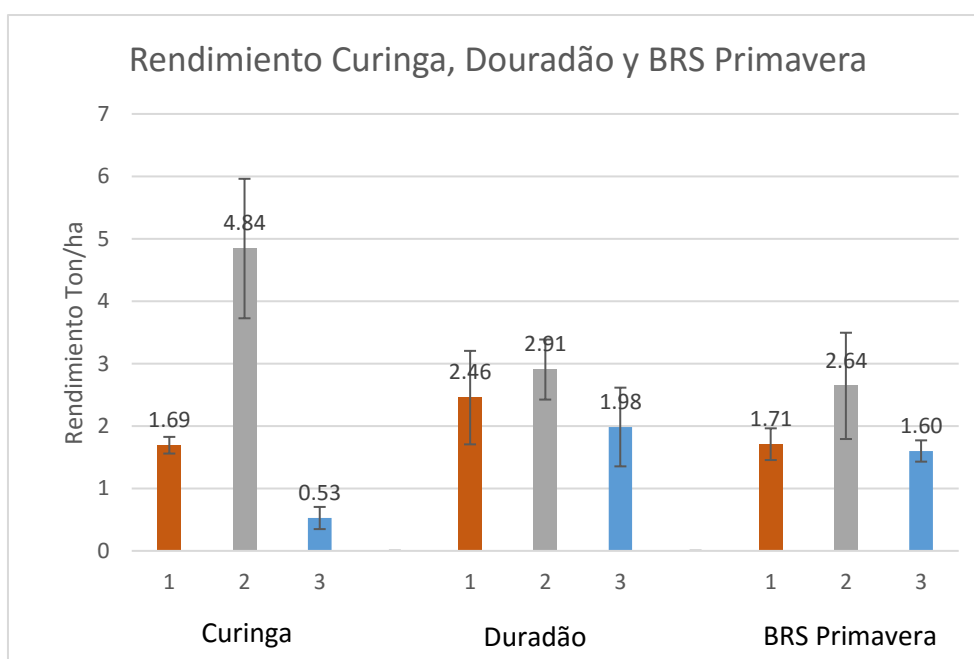
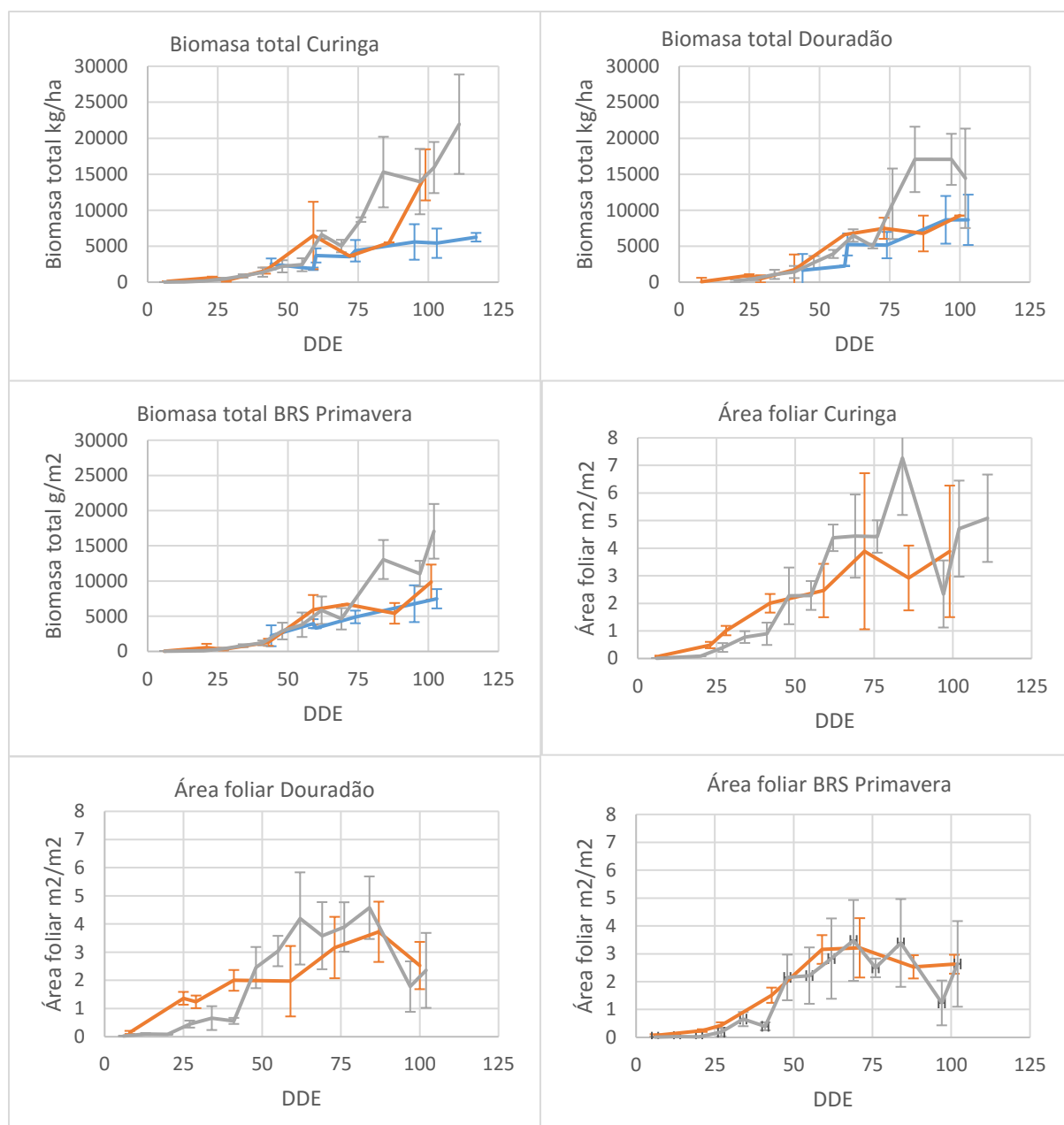


Figura 7. Rendimiento para las variedades Curinga, Douradão y BRS Primavera en 2 localidades de Brasil (siembra 1 y 2: Santo Antonio Goiás; siembra 3: Porangatu)



Colores asignados a cada siembra: Siembra 1 → , Siembra 2 → , Siembra 3 → .

Figura 8. Biomasa total y área foliar para las variedades BRS Primavera, Curinga y Duradao, en 2 localidades de Brasil: Santo Antonio de Goiás (siembra 1 y 2) y Porangatu (siembra 3)

Tabla 7. Datos de los experimentos realizados en 2 localidades de Brasil con las variedades BRS Primavera, Curinga y Douradão

	Localidad	Santo Antônio de Goiás	Porangatu
Generalidades	Latitud	-16.47	13.83
	Longitud	-49.28	-40.766
	Altitud (msnm)	823	373
	Año del experimento	2009-2011	2009-2010
Suelo	Tipo de suelo (USDA)	Franco Arcilloso	Arcillo-Arenoso
	Punto de Marchitez Permanente %	ND	ND
	Capacidad de Campo %	ND	ND
	Densidad aparente g/cm3	ND	ND
Manejo del cultivo	Variedad	Curinga	Curinga
		Douradão	Douradão
		BRS Primavera	BRS Primavera
	Número de siembras	2 (siembras 1 y 2)	1 (siembra 3)
	Método de siembra	Siembra directa	Siembra directa
	Sistema de siembra	Secano	Secano
	Densidad de plantas (semillas m-2)	230	230
	Distancia entre surcos (m)	0.25	0.25
	Fertilizante N-P-K (kg/ha)	80-60-40	80-60-40
Ciclo del cultivo	Fecha de siembra (dd/mm/yyyy)	13/11/2009 (siembra 1)	16/11/2009 (siembra 3)
		9/12/2010 (siembra 2)	
	Ciclo de cultivo (días)	<u>Siembra 1</u> Curinga: 129 Douradão: 122 BRS Primavera: 125	<u>Siembra 3</u> Curinga(114) Douradão(100) BRS Primavera(103)
		<u>Siembra 2</u> Curinga: 123 Douradão: 112 BRS Primavera: 114	
Clima	Promedio de temperatura máxima por ciclo de cultivo(siembra) (°C)	29.0 (siembra 1)	33.2 (siembra 3)
		28.0 (siembra 2)	
	Promedio de temperatura mínima por ciclo de cultivo (siembra) (°C)	19.7 (siembra 1)	22.5 (siembra 3)
		19.4 (siembra 2)	
	Precipitación acumulada en ciclo de cultivo (siembra) (mm)	902 (siembra 1)	539 (siembra 3)
		1105 (siembra 2)	
	Radiación solar acumulada por ciclo de cultivo (siembra) (MJ m-2 ciclo-1)	2408 (siembra 1)	1804 (siembra 3)
		2130 (siembra 2)	

8. Información agro-fisiológica en otros países de LAC

El Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego FLAR, como alianza publico-privada realiza investigaciones en conjunto con otras instituciones, en un total de 18 países ubicados desde Centro a Sur América con coordenadas geográficas que van desde 21.8 N -105.2 W hasta -36.4 S -72 W, y altitudes desde los 5 a los 1625 m.s.n.m. Dada la necesidad de conocer el manejo agronómico del cultivo de arroz y las evaluaciones realizadas actualmente, se procedió a realizar una revisión de datos en alianza con el CIAT, con los objetivos principales de conocer el tipo de manejo agronómico, componentes de rendimiento evaluados, las variedades, tipo de registros climáticos y edáficos, y la ubicación geográfica de las estaciones experimentales para 12 países miembros de FLAR: Colombia, Perú, Venezuela, Bolivia, Costa Rica, Nicaragua, Panamá, Uruguay, Argentina, Brasil, Ecuador y México. Estos datos constituyen una base de información para el potencial desarrollo de estudios de modelación del cultivo de arroz en LAC (para información de contacto ver Anexo 2).

En el grupo de países reportados en el Anexo 4 se observan un total de 92 estaciones experimentales, donde se realizan ensayos de mejoramiento, crecimiento y desarrollo desde hace más de 10 años. El número total de variedades utilizadas en los ensayos son 65 comerciales y 3 no comerciales, con ciclos de cultivo promedio entre 90 y 120 días después de siembra. Los ensayos agronómicos recogen datos del rendimiento del grano y sus componentes, además de la fenología (días a inicio de panícula, floración y cosecha). Otros datos que se registran en algunas de las estaciones experimentales son número de tallos, altura de la planta, calidad de grano. En total se realizan experimentos bajo 4 tipos de siembra: siembra directa mecanizada, trasplante a suelo fangueado, manual (voleo) y pregerminado (Anexo 1).

Los rendimientos promedio están entre 5 a 8 ton ha⁻¹; sin embargo, Perú registra rendimientos entre 6 y 11 ton ha⁻¹, para las variedades Mallares y HP Plazas. Uruguay destaca también con rendimientos entre 9 y 12 ton ha⁻¹ para 5 variedades: el Paso 144, INIA Olimar, INIA Tacuarí, INIA Parao e INOV CL. Finalmente, Brasil reporta 6 variedades (IRGA 410, IRGA 417, IRGA 422, IRGA 424, IRGA 426 e IRGA 424 RI) con rendimientos entre 6 y 12 ton ha⁻¹.

Los datos climáticos son registrados en tipo horario, diario, o mensual. De las 92 estaciones experimentales, según las encuestas realizadas, el 68.5% cuentan con datos para precipitación y temperatura, un 56% para humedad relativa, el 58% de las estaciones

reportan datos de velocidad del viento, el 35% de radiación solar y el 21% de brillo solar.

El Anexo 4 (Excel) presenta información detallada con respecto al nombre de las estaciones experimentales, año de experimentos, variedades, número de variedades y disponibilidad de datos para los 12 países miembros de FLAR que fueron encuestados.

Para mayor información sobre los países y estaciones de FLAR, además de los datos y gráficas de desarrollo y crecimiento para los ensayos experimentales en Brasil y Colombia, consultar la información de los anexos en formato de Excel. (Ver Listado de Anexos).

9. Conclusiones generales

Para Latinoamérica, Brasil es el país con mayor área de producción de arroz y el mayor número de estudios publicados sobre modelación del cultivo del arroz. Este reporte muestra ejemplos del uso de los modelos de simulación para explorar la variabilidad del rendimiento frente al cambio climático, a diferentes dosis de fertilización y fechas de siembra. No se encontraron reportes que utilicen los modelos mecanísticos para evaluar el efecto sobre el rendimiento de diferentes tipos de manejo como la siembra directa, las rotaciones de los cultivos y la cosecha de agua. Adicionalmente, las diferentes combinaciones de temperatura y humedad relativa (relevante para el trópico) son poco exploradas, no se ha considerado la interacción de temperaturas altas diurnas y nocturnas con la humedad o la radiación, criterios relevantes para el óptimo desarrollo de las variedades en el trópico en condiciones de riego. En estos contextos, no sabemos si los modelos que existen están adaptados para simular el desarrollo y crecimiento de las plantas en LAC. Para los cultivos de zona templada o subtropical solo un estudio analizó el impacto de las bajas temperaturas en la esterilidad de las espiguillas, sin embargo, falta observar el impacto de este estrés en diferentes regiones, diferentes tipos de suelo y manejos, y su interacción con la radiación. Cabe resaltar que el impacto del frío en fase vegetativa no ha sido explorado y la baja radiación en fase de maduración (factores clave en el desarrollo de los cultivos en el sub-tropical) no ha sido estudiado. Finalmente, aunque la calidad de grano es un criterio importante para los productores de arroz en LAC, y puede ser afectada por la variabilidad y el cambio climático, ningún estudio en LAC hasta ahora la ha analizado. Esto se debe a que en la actualidad no existe un modelo mecanístico que permita simular la calidad de grano en arroz, este tipo de modelo es necesario para responder a las demandas del cultivo en América Latina y el Caribe.

Los estudios descritos en este informe sugieren que con el fin de reducir las diferencias entre el rendimiento observado y simulado, los modelos del cultivo en LAC deben tener en cuenta: (i) el efecto en el rendimiento de factores combinados como clima y manejo (Artacho *et al.*, 2011; Heinemann *et al.*, 2015); (ii) la adaptación a zonas templadas (Artacho *et al.*, 2011); (iii) el efecto de las plagas y enfermedades (Walter *et al.*, 2012); (iv) el número de experimentos disponibles (Heinemann *et al.*, 2015; Hernández Córdova *et al.*, 2016); y (v) aplicar mejoras en los modelos matemáticos (Lorençoni *et al.*, 2010; Rosa *et al.*, 2013). Con los pocos ejemplos ilustrados en este reporte, se observa que existen las bases para realizar la modelación de este cultivo en los diferentes agro-ecosistemas de LAC; estas bases, en

adición a datos experimentales de países en los que no existen estudios publicados de modelación, permitirán evaluar los efectos sobre el rendimiento de diferentes tipos de manejo (incluyendo variedades), clima y suelo bajo climas actuales y futuros.

Una posible manera de solucionar la carencia de datos es la utilización del sensoreamiento remoto en modelos empíricos. Específicamente, con modelación empírica se puede explorar la relación entre imágenes espectrales y datos de campo. Efectivamente, Klering *et al.*, (2016), desarrollaron un modelo agrometeorológico–espectral que permite simular y estimar la producción de arroz de riego en la zona de Rio Grande do Sul, Brasil. De igual manera, dos Santos *et al.*, (2010) utilizó el modelo matemático SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) (Bastiaanssen *et al.*, 1998), junto con imágenes de flujos de calor en la superficie foliar, obtenidas a partir de un sensor de parámetros (ASTER, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y estableció la variabilidad espacial de la evapotranspiración utilizando los índices de vegetación (NDVI) y la relación del flujo del calor latente calculada para la zona centro de Rio Grande do Sul con el fin de estimar la variación del régimen hídrico del cultivo. Dicha información obtenida empíricamente se puede combinar con modelos mecanísticos (como entrada directa o para la estimación de parámetros), que tienen un ámbito de aplicación más amplio, como los pronósticos de rendimiento y las evaluaciones de impacto y adaptación climáticas.

Además de los estudios publicados y mencionados en este reporte, en los demás países de Latinoamérica, el FLAR reporta que existen múltiples datos provenientes de estudios de crecimiento, desarrollo, fenología y comportamiento agronómico dentro de las 92 estaciones experimentales reportadas para este informe. Estos estudios han sido realizados con el fin de evaluar el rendimiento, desarrollo y crecimiento de las variedades comerciales de un país en las diferentes regiones en donde se desarrolla este cultivo. En este contexto es de suma importancia promover la creación de una base de datos general y conjunta en donde se proporcione información de variables climáticas, agronómicas, geográficas y fenológicas de cada país, que permitan desarrollar y calibrar los modelos de los cultivos de arroz.

10. Uso y acceso de la información

El uso de la información del presente documento está permitido citando concretamente este reporte y los artículos relacionados a la investigación específica en cada país. Se podrá acceder a la información en detalle, previo acuerdo con los autores de las investigaciones requeridas.

Procedimiento para solicitud de información y datos en detalle:

1. Contacte al autor de los trabajos experimentales. Consulte el listado en detalle de los contactos para los investigadores que está en el Acápite 10. En su comunicación con los autores incluya los datos del solicitante y manifiesto de uso e interés como se detalla a continuación:
 - a. Su nombre completo e información de contacto (email, teléfono, dirección)
 - b. Institución a la que está afiliado
 - c. Medio por el cual encontró la publicación
 - d. Razón por la que está interesado en obtener los datos o información
 - e. El tipo de uso (educación, investigación, política pública) y descripción específica del mismo para el que se solicita; provea alguna información del contexto y los objetivos de los trabajos a realizar con dicha información, así como detalles en cuanto a otros colaboradores involucrados.
 - f. Información adicional que interesaría obtener de los autores de los trabajos experimentales (contactos locales, información de variedades, estadísticas nacionales, zonas de producción, etc.)
 - g. En caso de haberlo, especifique si tiene interés de colaboración con el autor de los trabajos experimentales o los autores de este reporte y el tipo de apoyo que le gustaría obtener.
2. Envíe la respuesta y aprobación del autor de los trabajos experimentales, junto con los datos del solicitante y manifiesto de uso e interés, así como cualquier otro detalle o inquietud, al equipo de JRC a cargo de la colección y organización de los datos dentro de la Unidad de Seguridad Alimentaria. Envíe la información vía correo electrónico usando "EUROCLIMA-Solicitud de datos" en el título del correo electrónico a la dirección: EU-AGRI4CAST-PORTAL@ec.europa.eu
3. Al recibo de la información anterior, enseguida recibirá un link de acceso a la información y datos requeridos así como las instrucciones de uso.

11. Referencias bibliográficas

- Acevedo, M., Reyes, E., Castrillo, W., Torres, O., Marín, C., Álvarez, R., Moreno, O. & Torres, E. (2010). Estabilidad fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN- BINNS y AMMI. *Agronomía Tropical*, 60: 131–138.
www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2010000200002
- Aggarwal, P.K., Kalra, N., Chander, S. & Pathak, H. (2006). InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agricultural Systems*, 89: 1–25.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.08.001>
- Aggarwal, P.K., Kropff, M.J., Cassman, K.G. & Ten Berge, H.F.M. (1997). Simulating genotypic strategies for increasing rice yield potential in irrigated, tropical environments. *Field Crops Research*, 51: 5–17. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01044-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01044-1)
- Angulo, C., Rötter, R., Trnka, M., Pirttioja, N., Gaiser, T., Hlavinka, P. & Ewert, F. (2013). Characteristic “fingerprints” of crop model responses to weather input data at different spatial resolutions. *European Journal of Agronomy*, 49, 104–114. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.003>
- Artacho, P., Meza, F. & Alcalde, J.A. (2011). Evaluation of the ORYZA2000 Rice Growth Model under Nitrogen-Limited Conditions in an Irrigated Mediterranean Environment. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71: 23–33. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392011000100003>
- Asenjo, C.A., Bezus, R. & Acciaresi, H.A. (2003). Genotype-environment interactions in rice (*Oryza sativa* L.) in temperate region using the Joint Regression Analysis and AMMI methods. *Cereal Research Communications*, 31: 97–104. www.jstor.org/stable/23787209
- Bastiaanssen W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. & Holtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212–213: 198–212. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(98\)00253-4](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4)
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Pickering, N. B. (1996). Potential Uses and Limitations of Crop Models. *Agronomy Journal*, 88: 704–716.
<https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800050005x>
- Bordin, L.C., Casa, R.T., Marcuzzo, L. L., Reis, E.M., Gheller, A., Zancan, R.L. & Fingstag, M.D. (2016). Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease, *Ciência Rural*, 46: 7–12. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20150310>
- Bouman, B. A. M., & Van Laar, H. H. (2006). Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural Systems*, 87: 249–273.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.09.011>

- Bueno Gomes, L., Vianello, R. P., Rangel, P., Utumi, M., Cordeiro, Antonio Carlos Centeno Pereira, J. A., Franco Fernandez, D., & Neto Moura, F. (2012). Adaptabilidade e estabilidade de acessos de uma coleção nuclear de arroz. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 47: 216–226. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000200010>
- Camargo-Buitargo, I., Quirós-McIntire, E. I., & Camargo-García, V. M. (2014). Selección de nuevos genotipos de arroz basados en la probabilidad de superar al testigo 1. *Agronomía Mesoamericana*, 25: 63–71.
- Camargo, I., Quirós-McIntire, E., & Gordón-Mendoza, R. (2011). Identificación de mega-ambientes para potenciar el uso de genotipos superiores de arroz en Panamá. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 46: 1061–1069.
- Challinor, A.J., Watson, J., Lobell, D.B., Howden, S.M., Smith, D.R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4: 287–291. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE2153>
- Chen, H., Yu, C., Li, C., Xin, Q., Huang, X., Zhang, J., Wang, W. (2016). Modeling the impacts of water and fertilizer management on the ecosystem service of rice rotated cropping systems in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219: 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.023>
- Colombari Filho, J.M., de Resende, M.D., de Moraes, O.P., de Castro, A.P., Guimarães, É.P., Pereira, J.A. & Breseghello, F. (2013). Upland rice breeding in Brazil: A simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. *Euphytica*, 192: 117–129. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0922-2>
- Confalonieri, R., Rosenmund, A.S. & Baruth, B. (2009). An improved model to simulate rice yield. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 463–474. DOI: 10.1051/agro/2009005.
- Degiovanni, V., Martinez, C.P. & Motta, F. (Eds.) (2010). *Producción ecoeficiente del arroz en América Latina: Tomo I*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf
- Delgado, E., Fortes, A., Massaru, A., Pavão, E., Pellegrino, G. & Monteiro, J.E. (2016). Impactos e vulnerabilidades da agricultura brasileira às mudanças climáticas. In B.S. Teixeira, J.A.M. Orsini & M.R. da Cruz (Eds.), *Modelagem climática e vulnerabilidades setoriais à mudança do clima no Brasil* (p. 590). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Brasília.
- dos Santos, T.V., Fontana, D.C. & Alves, R.C.M. (2010). Evaluation of heat fluxes and evapotranspiration using SEBAL model with data from ASTER sensor. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 45: 488–496. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500008>

Do Vale, J.C., Soares, P.C., Cornélio, V.M.O., Reis, M.S., Borges, V., Bisi, R.B., Soares, A.A. & Fritsche-Neto, R. (2012). Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. *Bragantia*, 71: 460–466. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052012000400002>

Fernandes, E.C.M., Soliman, A., Confalonieri, R., Donatelli, M. & Tubiello, F. (2012). Climate change and agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected impacts and response to adaptation strategies. World Bank.
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12582>

FAO (2004). El arroz y la nutrición humana. *Año internacional del arroz 2004 El arroz es vida*, Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/rice2004/es/f-sheet/hoja3.pdf

FAO (2017). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Datos obtenidos de www.fao.org/faostat/es/#data en varias fechas en 2017.

FAO (2016). Seguimiento del mercado del arroz de la FAO, XIX (4) - Diciembre de 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Rice/Images/RMM/SMA_DEC16.pdf

Gálvez, G., Sigarrosa, A., López, T. & Fernández, J. (2010). Modelación de cultivos agrícolas. Algunos ejemplos. *Cultivos Tropicales*, 31 (3): 60–65. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217921012>

García, A., Dourado-neto, D., Basanta, V., López, R.F. & Favarin, J.L. (2003). Logistic rice model for dry matter and nutrient uptake. *Scientia Agricola*, 60: 481–488. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300011>

GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). Rice Almanac, 4th edition. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Philippines. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg189>

Heinemann, A.B., Barrios-Perez, C., Ramirez-Villegas, J., Arango-Londoño, D., Bonilla-Findji, O., Medeiros, J.C., & Jarvis, A. (2015). Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil. *Journal of Experimental Botany*, 66: 3625–3638. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv126>

Heinemann, A. B., Dingkuhn, M., Luquet, D., Combres, J. C., & Chapman, S. (2008). Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. *Euphytica*, 162: 395–410. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9579-z>

- Hernández, N., Soto, C.F., & Caballero, C.A. (2009). Modelos de simulación de cultivos. Características y usos. *Cultivos Tropicales*, 30. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100014
- Hernández Córdova, N., Carreño, F. S., Bacallao, R. F., Llerena, R. P., Núñez, A. C., López, L.A.M. & Vantour, A. (2016). Utilización de un modelo de simulación para la predicción del comportamiento de algunos cereales en las condiciones de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 37: 78–84. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000100011
- IRRI (2015). Rice in Latin America: past, present and promising future. *Rice Today*, 14 (1). http://books.irri.org/RT14_1_content.pdf
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D. & Smith, C.J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18: 267–288. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00108-9)
- Khoury, C.K., Bjorkman, A.D., Dempewolf, H., Ramirez-Villegas, J., Guarino, L., Jarvis, A. & Struik, P.C. (2014). Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111: 4001–4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- Klering, E.V., Fontana, D.C., Berlato, M.A. & Filho, A.C. (2008). Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 43: 549–558. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000500001>
- Klering, V., Fontana, C., Roglio, S., Alves, M., de Cássia, R., Antonio, M. & Marques, R.D.C. (2016). Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Bragantia*, 75: 247–256. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.287>
- Kumagai, M., Wang, L. & Ueda, S. (2010). Genetic diversity and evolutionary relationships in genus *Oryza* revealed by using highly variable regions of chloroplast DNA. *Gene*, 462: 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2010.04.013>
- Li, T., Hasegawa, T., Yin, X., Zhu, Y., Boote, K., Adam, M. & Bouman, B. (2015). Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions. *Global Change Biology*, 21: 1328–1341. <https://doi.org/10.1111/gcb.12758>
- Lorençoni, R., Neto, D.D. & Heinemann, A.B. (2010). Calibração e avaliação do modelo ORYZA-APSIM para o arroz de terras altas no Brasil. *Revista Ciencia Agronomica*, 41: 605–613. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902010000400013>
- Luh, B.S. (1991). *Rice Production* (2nd ed.). Springer Science & Business Media.

- Meinke, H., Hammer, G.L., van Keulen, H., Rabbinge, R. & Keating, B.A. (1997). Improving wheat simulation capabilities in Australia from a cropping systems perspective: water and nitrogen effects on spring wheat in a semi-arid environment. *Developments in Crop Science*, 25(C): 99–112. [https://doi.org/10.1016/S0378-519X\(97\)80012-8](https://doi.org/10.1016/S0378-519X(97)80012-8)
- Mejías, P. & Ramírez, N. (2015). Un modelo de simulación genérico de una productora de arroz. *Agroalimentaria*, 21 (41): 95-111. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199243361007>
- Monteiro, J.E.B., Azevedo, L., Assad, E.D. & Sentelhas, P.C. (2013). Rice yield estimation based on weather conditions and on technological level of production systems in Brazil. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 48(2), 123–131. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200001>
- Murthy, V. R. K. (2004). Crop growth modeling and its applications in agricultural meteorology. In (Eds: M.V.K. Sivakumar, P.S. Roy, K. Harmsen and S.K. Saha) *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, 235–261. World Meteorological Organisation, AGM-8, WMO/TD-No. 1182
http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/AGM8_en.php
- Oka, H.I. (1988). *Origin of cultivated rice*. Japan Scientific Societies Press & Elsevier Science Publishers, Developments in Crop Science 14.
- Pantoja, A., Sanint, L.R., Correa, F., Fischer, A. & Ramírez, A. (1997). *MIP en arroz: Manejo integrado de plagas; artrópodos, enfermedades y malezas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Publicación CIAT no. 292. <http://hdl.handle.net/10568/54176>
- Pedro Júnior, M.J., Sentelhas, P.C., Moraes, A.V. & Villela, O.V. (1995). Estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. *Scientia Agricola*, 52, 96–100.
- Peng, S., Huang, J., Sheehy, J.E., Laza, R.C., Visperas, R.M., Zhong, X. & Cassman, K.G. (2004). Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 9971–9975. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>
- Petri, G.N., Petri, J.G., Nicolás, J., Horton, D., Benson, T., Ramírez, D.O. & Frattini, F. (2015). Modelos de simulación y herramientas de modelaje: Elementos conceptuales y sistematización de herramientas para apoyar el análisis de impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre las actividades agrícolas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Proyecto EUROCLIMA-IICA). <http://euroclima.iica.int/content/modelos-de-simulaci%C3%B3n-y-herramientas-de-modelaje>

- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M. & Travasso, M.I. (2014). Food security and food production systems. In (Eds. C.B. Field et al.): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap7_FINAL.pdf
- Ramirez-Villegas, J., Heinemann, A.B., de Castro, A.P., Breseghello, F., Navarro-Racines, C., Tao, L., Rebolledo, M.C. and Challinor, A. J. (2018). Breeding implications of drought stress under future climate for upland rice in Brazil. *Global Change Biology* 24, 2035-2050. DOI: 10.1111/gcb.14071.
- Ramos Molina, L.M., Sanches, A., & Cotes, J.M. (2009). Testes multiambientais na seleção de genótipos de arroz utilizando o modelo de regressão nos sítios ou locais. *Ciência Rural*, 39(1), 52–57. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000100009>
- Regitano Neto, A., Ramos Junior, E.U., Boller Gallo, P., de Freitas, G. & Azzini, L.E. (2013). Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. *Revista Ciencia Agronomica*, 44(3), 512–519. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000300013>
- Ricepedia (2016). Rice as a food: The global staple. *Ricepedia The online authority on Rice*. acessado em 12 de dezembro de 2016 desde <http://ricepedia.org/rice-as-food/the-global-staple-rice-consumers>
- Rosa, H.T. (2013). Simulação do crescimento, desenvolvimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul com o modelo SimulArroz. Universidade Federal de Santa Maria (tese de doutorado). <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/3223>
- Rosa, H.T., Walter, L.C., Streck, N.A., de Carli, C., Ribas, G.G. & Marchesan, E. (2015). Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(12), 1159–1165. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1159-1165>
- Sharma, S. (Ed.) (2010). *Rice: Origin, Antiquity and History*. CRC Press, Science Publishers.
- Singh, R.K., Singh, U.S. & Khush, G.S. (Eds.) (2000). *Aromatic Rices*. Mohan Pramlani for Oxford & IBH Publishing. http://books.irri.org/8120414209_content.pdf
- Smith, C.W. & Dilday, R.H. (Eds.) (2003). *Rice: Origin, History, Technology, and Production*. John Wiley & Sons.
- Steinmetz, S., Deibler, A.N. & da Silva, J.B. (2013). Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. *Ciência Rural*, 43: 206–211. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200003>

Stone, L.F., da Silveira, P.M., Moreira, J.A.A. & Yokoyama, L.P. (1999). Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34: 927–932. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000600002>

Streck, N.A., Charão, A.S., Walter, L.C., Rosa, H.T., Benedetti, R.P., Marchesan, E. & da Silva M.R. (2013). SimulArroz: Um aplicativo para estimar a produtividade de arroz no Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. SOSBAI, Universidade Federal de Santa Maria. http://cbai2013.web2265.uni5.net/docs/cbai2013_palestra_nereu_streck.pdf

Tinoco, R., & Acuña, A. (Eds.) (2008). Manual de recomendaciones técnicas - Cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00177.pdf

Tivy, J. (2014). *Agricultural Ecology*. Routledge Taylor and Francis Group.

Walter, L.C., Rosa, H.T., Streck, N.A. & Ferraz, S.E.T. (2012). Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado. *Engenharia Agrícola* 32: 510–521. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162012000300010>

Walter, L.C., Streck, N.A., Rosa, H.T., Ferraz, S.E.T., & Cera, J.C. (2014). Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49: 915–924. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200001>

White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. & Wall, G.W. (2011). Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*, 124: 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.001>

You, L., Wood-Sichra, U., Fritz, S., Guo, Z. See, L. and Koo, J. 2016. Spatial Production Allocation Model (SPAM) 2005 v3.1. <http://mapspam.info>

Zhao, C., Piao, S., Wang, X., Huang, Y., Ciais, P., Elliott, J. & Liu, Y. (2016). Plausible rice yield losses under future climate warming. *Nature Plants*, 3: 16202. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.202>

12. Descarga de programas (Otros links de potencial interés)

- ORYZA2000:

<https://sites.google.com/a/irri.org/oryza2000/about-oryza-version-3> Software

- Manual de ORYZA-2000:

<http://irri.org/resources/publications/books/item/oryza2000-modeling-lowland-rice>

- Simul-Arroz:

<http://coral.ufsm.br/simularroz/index.php/o-software>

- Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT):

<http://dssat.net/>

- APSIM (Agricultural Production Systems Simulator) Initiative: <https://www.apsim.info/>

- BioMA:

<http://bioma.jrc.ec.europa.eu/> (información general)

<http://agri4cast.jrc.ec.europa.eu/DataPortal/Index.aspx?o=s> (software downloads)

Lista de figuras

Figura 1	Producción y rendimiento de arroz en LAC 2014.....	14
Figura 2	Distribución del cultivo de arroz según el área total por celda de cuadrícula de 10x10 km de resolución en la región LAC.....	15
Figura 3	Comportamiento de arroz de secano observado y simulado en el modelo de cultivo RICE 06 para (a) arroz de ciclo corto y b) arroz de ciclo medio.....	29
Figura 4	Biomasa total para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 4 localidades de Colombia (Aipe, Montería, Saldaña y Santa Rosa).....	33
Figura 5	Area foliar para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 3 localidades de Colombia (Montería, Saldaña y Santa Rosa).....	34
Figura 6	Rendimiento para las variedades Fedearroz 2000 e IR64 en 4 localidades de Colombia (Aipe, Montería, Saldaña y Santa Rosa).....	35
Figura 7	Rendimiento para las variedades Curinga, Duradão y BRS Primavera en 2 localidades de Brasil: Santo Antonio de Goiás y Porangatu	40
Figura 8	Biomasa total y área foliar para las variedades BRS Primavera, Curinga y Duradao, en 2 localidades de Brasil: Santo Antonio de Goiás y Porangatu.....	41

Lista de tablas

Tabla 1. Estudios de modelación de arroz realizados en LAC	8
Tabla 2. Toneladas cosechadas, rendimiento, área cosechada, área total nacional ocupada en superficie terrestre, área total agrícola, e porcentaje de área cosechada por país en relación al área total agrícola en LAC, 2014.....	13
Tabla 3. Meses de siembra reportados en las estaciones experimentales de FLAR para la zona tropical (riego y seco) y la zona templada (riego)	18
Tabla 4. Variedades más sembradas en las estaciones experimentales miembros de FLAR para el periodo 2015-2016 (zona tropical y templada)	19
Tabla 5. Datos de los experimentos utilizados para la calibración de algunos modelos mecanísticos en LAC.....	22
Tabla 6. Datos de los experimentos realizados en 4 estaciones de Colombia con Fedearroz 2000 e IR64.....	36
Tabla 7. Datos de los experimentos realizados en 2 localidades de Brasil con las variedades BRS Primavera, Curinga y Duradão.....	42

Listado de Anexos

Anexo	Nombre
Anexo 1	Métodos de siembra en las estaciones experimentales de países miembros de FLAR
Anexo 2	Información de contacto, para acceso a la información disponible en países miembros de FLAR
Anexo 3	Información de contacto, para artículos de modelación citados en este informe
Anexo 4 (digital)	Estaciones experimentales de países miembros de FLAR
Anexo 5 (digital)	Datos de Crecimiento y Desarrollo para variedades de ensayos experimentales en Brasil
Anexo 6 (digital)	Datos de Crecimiento y Desarrollo para variedades de ensayos experimentales en Colombia
Anexo 7 (digital)	Datos de clima y suelo para Brasil
Anexo 8 (digital)	Datos de clima y suelo para Colombia
Anexo 9 (digital)	Información de datos agronómicos recolectados en estaciones experimentales de FLAR

Anexo 1 . Métodos de siembra en las estaciones experimentales de países miembros de FLAR

Zona templada	Método de Siembra
Argentina	Siembra directa
Brasil	Siembra directa, Pregerminado
Uruguay	Siembra directa
Zona tropical	Método de siembra
Bolivia	Manual
Colombia	Siembra directa, Trasplante
Ecuador	Siembra directa, Trasplante, Manual
Costa Rica	Siembra directa, Pregerminado
México	Manual, Mecanizado, Siembra directa
Nicaragua	Pregerminado, Siembra directa, Manual
Panamá	Siembra directa, Pregerminado y Trasplante
Perú	Trasplante, Manual
Venezuela	Pregerminado, Trasplante, Siembra directa

Anexo 2. Información de contacto, para acceso a la información disponible en países miembros de FLAR

Zona templada	Nombre de la persona de contacto	Correo
Argentina	Maria Ines Pachecoy	pachecoy.maria@inta.gob.ar
Brasil	Mauricio Fischer	mauriciofischer@irga.rs.gov.br
Uruguay	Fernando Perez de Vida	fperez@inia.org.uy

Zona tropical	Nombre de la persona de contacto	Correo
Bolivia	Juana Viruez	jviruez@ciatbo.org
Colombia	Myriam Patricia Guzman	subtecnica@fedearroz.com.co
Ecuador	Roberto Celi	roberto.celi@iniap.gob.ec
Costa Rica	Norman Oviedo	noviedo@senumisa.com
México	Edwin Barrios	barrios.edwin@inifap.gob.mx
Nicaragua	Wilfredo Bejarano	wilfredobejarano@anar.com.ni
Panamá	Evelyn Quiros	evelynitzel26@gmail.com
Perú	Carlos Bruzzzone	arrozzzone@gmail.com
Venezuela	Juan Figueroa	jfigueroa2020@hotmail.com

Anexo 3. Información de contacto, para artículos de modelación citados en este informe

Nombre del artículo	Año	Autor de Contacto	Correo
Modelo agrometeorológico- espectral para estimativa da produtividade de grãos de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	2016	Eliana Veleda Klering	elianavk@gmail.com
Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease	2016	Leandro Luiz Marcuzzo	marcuzzo@ifc-riodosul.edu.br
Utilización de un modelo de simulación para la predicción del comportamiento de algunos cereales en las condiciones de Cuba	2016	Naivy Hernández Córdova	naivy@inca.edu.cu
Variation and impact of drought-stress patterns across upland rice target population of environments in Brazil	2015	Alexandre Bryan Heinemann	alexandre.heinemann@embrapa.br
Mudanças climáticas e seus efeitos no rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	2014	Lidiane Cristine Walter	lidiane.walter@iffarroupilha.edu.br
Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar	2013	Silvio Steinmetz	silvio.steinmetz@embrapa.br
Adaptação e avaliação do modelo InfoCrop para simulação do rendimento de grãos da cultura do arroz irrigado	2012	Nereu A. Streck	nstreck1@smail.ufsm.br
Calibração e avaliação do modelo ORYZA- APSIM para o arroz de terras altas no Brasil1	2010	Alexandre Bryan Heinemann	alexandre.heinemann@embrapa.br
Avaliação de fluxos de calor e evapotranspiração pelo modelo SEBAL com uso de dados do sensor ASTER	2010	Thiago Veloso dos Santos Denise Cybis Fontana	thiagoveloso@gmail.com dfontana@ufrgs.br
Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul	2008	Eliana Veleda Klering	elianavk@gmail.com
Logistic rice model for dry matter and nutrient uptake	2003	Durval Dourado-Neto	dourado@esalq.usp.br
Lowland rice yield estimates based on air temperature and solar radiation	1995	Mario Jose Pedro Junior	mpedro@iac.sp.gov.br
Evaluation of the ORYZA2000 Rice Growth Model under Nitrogen-Limited Conditions in an Irrigated Mediterranean Environment	2011	Pamela Artacho	pnartach@uc.cl
Un modelo de simulacion genérico de una productora de arroz	2015	Mejías P., Ixhel Ramírez N., Vicente	ixalejandra@gmail.com vicente@ula.ve
Estabilidade fenotípica de arroz de riego en Venezuela utilizando los modelos LIN- BINNS y AMMI	2010	Marco Acevedo William Castrillo	macevedo@inia.gob.ve wcastrillo@inia.gob.ve

Anexos digitales

La base de datos de los experimentos agronómicos está presentada en formato Excel, dividida en hojas individuales conteniendo la información climática, de suelos, de cultivos y de manejo. Esta es la información mínima requerida para poder alimentar a los modelos de crecimiento del cultivo de arroz. Los países para los cuales se presenta esta información son Colombia y Brasil. Dentro de los anexos digitales también se incluye una plantilla con la información proporcionada por FLAR. (Ver Listado de Anexos)

GETTING IN TOUCH WITH THE EU

In person

All over the European Union there are hundreds of Europe Direct information centres. You can find the address of the centre nearest you at: <http://europea.eu/contact>

On the phone or by email

Europe Direct is a service that answers your questions about the European Union. You can contact this service:

- by freephone: 00 800 6 7 8 9 10 11 (certain operators may charge for these calls),
- at the following standard number: +32 22999696, or
- by electronic mail via: <http://europa.eu/contact>

FINDING INFORMATION ABOUT THE EU

Online

Information about the European Union in all the official languages of the EU is available on the Europa website at: <http://europa.eu>

EU publications

You can download or order free and priced EU publications from EU Bookshop at: <http://bookshop.europa.eu>. Multiple copies of free publications may be obtained by contacting Europe Direct or your local information centre (see <http://europa.eu/contact>).

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub
ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



Joint Research Centre



EU Science Hub



Publications Office

doi:10.2760/18081

ISBN 978-92-79-77337-2